

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS
CENTRÍFUGAS CONECTADAS EN SERIE Y PARALELO**

AUTORES:

**FREDDY AGILA DIAZ
IVAN CALAHORRANO PEREZ**

DIRECTOR:

ING. ORLANDO PINEDA

QUITO, 14 DE JULIO DEL 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, FREDDY MIGUEL AGILA DÍAZ y CÉSAR IVÁN CALAHORRANO PÉREZ, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente

IVÁN CALAHORRANO
CC: 171590070-8

FREDDY AGILA DÍAZ
CC: 172010977-4

PENSAMIENTO

“La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos”.

Albert Einstein.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por IVÁN CALAHORRANO PÉREZ Y FREDDY AGILA DÍAZ, bajo mi supervisión.

Atentamente

ING. ORLANDO PINEDA
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Yo, Iván Calahorrano Pérez dedico enteramente esta tesis a mis padres Iván Calahorrano – Lourdes Pérez y hermanos Gisela – Marco - Juan que han sido pilar moral y económico importante para la culminación de esta meta profesional.

IVAN CALAHORRANO PEREZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente los resultados de este proyecto, a la formación académica de la Universidad Politécnica Salesiana y a todas aquellas personas que, de alguna forma están ligadas a esta prestigiosa Institución.

IVÁN CALAHORRANO PÉREZ

DEDICATORIA

Yo, FREDDY MIGUEL AGILA dedico esta tesis en primer lugar a Dios, a mis queridos abuelitos †José María – Carmen; Luis- Anita, a mis queridos padres José Miguel- Luz Victoria, a mis hermanos Eddy-Leonardo- Andrés- Bryan, a mi esposa Luz María, a mi hermosa familia que en todo momento han sido un apoyo fundamental para lograr mis metas les agradezco por sus enseñanzas, cariño que día a día me brindan, este es el fruto de lo que han sembrado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis Abuelitos por las enseñanzas, ejemplo que en todo momento son parte de mi vida, a mis Padres hermanos por el apoyo económico, moral, por siempre levantarme cuando lo necesite y por estar a mi lado en cada momento de alegría, de igual manera a mis maestros, compañeros con los que compartimos momentos de alegría y que son testigos del esfuerzo realizado para llegar a esta meta.

INDICE

INDICE GENERAL	PÁGINA
DEDICATORIA (Iván Calahorrano).....	i
AGRADECIMIENTOS (Iván Calahorrano).....	ii
DEDICATORIA (<i>Freddy Agila</i>).....	iii
AGRADECIMIENTOS (<i>Freddy Agila</i>).....	iv
RESUMEN.....	v
TEMA.....	vi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	vi
JUSTIFICACIÓN.....	vi
ALCANCE.....	vi
OBJETIVO GENERAL.....	vi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	vii
HIPOTESIS.....	vii
METODOLOGÍA.....	vii
<i>Método Deductivo</i>	vii
<i>Método Inductivo</i>	viii

CAPITULO I

1. BOMBAS HIDRÁULICAS.....	9
1.1 Tipos de bombas.....	9
1.1.1 Bombas de desplazamiento no positivo.....	9
1.1.2 Bombas de desplazamiento positivo.....	11
1.2 Bombas hidrodinámicas.....	13
1.2.1 Bombas centrifugas.....	14

1.2.1.1	Clasificación de bombas centrífugas.....	14
a)	<i>Centrífugas o radiales</i>	14
b)	<i>Bombas axiales o helicoidales</i>	14
c)	<i>Bombas de flujo mixto</i>	15
1.2.2	Formas de conexión de las bombas.....	15
1.2.2.1	Conexión de bombas en serie.....	15
1.2.2.2	Conexión de bombas en paralelo.....	17

CAPITULO II

2.	BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	19
2.1	Curva característica del funcionamiento de la bomba.....	19
2.2	Curva característica de la eficiencia de la bomba.....	19
2.3	Curva característica de la eficiencia de la bomba.....	21
2.3.1	Potencia hidráulica entregada por la bomba.....	22
2.3.1.1	Caudal volumétrico en una tubería.....	22
2.3.2	Potencia eléctrica suministrada por el motor a la bomba.....	23
2.4	Curva característica del sistema de bombeo.....	23
2.4.1	Pérdidas de carga en un sistema de bombeo.....	25
2.4.1.1	Pérdidas primarias de carga.....	25
2.4.1.1.1	El factor de fricción de una tubería.....	26
2.4.1.1.2	Número de Reynolds.....	27
2.4.1.2	Pérdidas secundarias de carga.....	27
2.5	Curva característica de la cabeza neta de succión positiva disponible.....	28
2.5.1	Presión de vapor de un fluido.....	29

2.5.2	Cabeza neta de succión positiva requerida (NPSH _r).....	31
2.6	Punto de operación de un sistema de bombeo.....	31

CAPITULO III

3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE BANCO DE PRUEBAS.....	33
3.1	Diseño de la estructura a través de un plano.....	33
3.1.1	Esquema del Banco de Pruebas.....	33
3.1.2	Esquema Hidráulico del Banco de Pruebas.....	34
3.1.3	Esquema hidráulico de Trayectoria1 y Trayectoria 2.....	35
3.1.4	Esquema hidráulico de Trayectoria 3 (Conexión en serie).....	36
3.1.5	Esquema hidráulico de Trayectoria 4 (conexión en paralelo).....	37
3.2	Diseño del banco de pruebas y selección de equipos.....	37
3.2.1	Selección de la Bomba Centrífuga.....	37
3.2.2	Selección de la tubería.....	38
3.2.3	Condiciones en las que va a trabajar el equipo.....	39
3.2.4	Fluido a utilizar en el banco de Pruebas.....	40
3.3	Cálculo de pérdidas en el sistema.....	40
3.3.1	Cálculo de pérdidas que existentes en trayectoria 1.....	41
3.3.2	Calculo de Perdidas en el Sistema dos (Trayectoria 2).....	61
3.3.3	Calculo de Perdidas en el Tercer Sistema (conexión en Serie).....	68
3.3.4	Calculo de Perdidas en el Cuarto Sistema (conexión en Paralelo).....	76
3.4	Dimensionamiento del tanque.....	86
3.5	Selección de instrumentos de medida y control.....	87
3.5.1	Bomba centrífuga ½ Hp.....	88
3.5.2	Tubería.....	88

3.5.3	Válvula reguladora de caudal.....	90
3.5.4	Manómetros.....	91
3.5.5	Válvulas distribuidoras.....	92
3.5.6	Medidor de flujo de área variable.....	92
3.5.7	Tanque de Almacenamiento.....	93
3.6	Selección del material eléctrico.....	94
3.6.1	Contactor.....	94
3.6.2	Pulsadores.....	94
3.6.3	Amperímetro.....	95
3.6.4	Switch Selector.....	96
3.6.5	Breaker.....	96

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
4.1	Resultados Prácticos Trayectoria 1.....	97
4.1.1	Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico.....	99
4.1.2	Curva de la bomba Practico.....	101
4.1.3	Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico).....	102
4.2	Análisis en Trayectoria 2.....	103
4.2.1	Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico.....	105
4.2.2	Curva de la bomba Practico.....	106
4.2.3	Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico).....	107
4.2.4	Análisis de Comparación entre Resultados Trayectoria 1 y 2.....	107
4.3	Análisis en trayectoria en serie.....	107
4.3.1	Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico.....	109

4.3.2 Curva de la bomba Practico.....	110
4.3.3 Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico).....	111
4.3.4 Análisis de Comparación entre Resultados Serie, Trayectoria 1 y Trayectoria 2.....	111
4.4 Análisis en trayectoria en Paralelo.....	112
4.4.1 Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico.....	113
4.4.2 Curva de la bomba Practico.....	115
4.4.3 Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico).....	116
4.4.4 Análisis de Comparación entre Resultados Paralelo, Serie, trayectoria 1, y trayectoria 2.....	116

CAPITULO V

5. COSTOS.....	117
5.1 Costos de materiales.....	117
5.1.1 Costos de material hidráulico.....	117
5.1.2 Costos de Material eléctrica.....	118
5.1.3 Costo de accesorios para banco de pruebas.....	119
5.2 Costos de mano de obra.....	119
5.3 Costos de Ingeniería y Administrativos.....	120
5.4 Costo total del proyecto.....	121
6. CONCLUSIONES.....	122
7. RECOMENDACIONES.....	125
8. GLOSARIO.....	126
9. BIBLIOGRAFIA.....	130

INDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
A. GUIAS DE LABORATORIO.....	132
B. CATÁLOGO ELECTROBOMBA PERIFERICA.....	146
C. CATÁLOGO DE ESPECIFICACIONES PARA TUBERIA PVC.....	151
D. CATÁLOGO DE PERDIDAS EN TUBERIA PVC.....	153
E. CATÁLOGO PLASTIGAMA	155
F. CATÁLOGO DE ACCESORIOS DE LINEA ROSCABLE.....	158
G. CATÁLOGO DE LONGITUDES EQUIVALENTES.....	160
H. CATÁLOGO DE ROTAMETRO.....	162
I. NORMA ASTM D1785 CALIBRE 80 Y 40.....	164
J. COEFICIENTES DE PERDIDA EN ACCESORIOS.....	168
K. MONTAJE.....	173
L. PLANO ELECTRICO.....	184
M. PLANOS	185

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Fig.1.1 Bomba de paletas.....	10
Fig.1.1.1 Bomba de paletas (Estanqueidad entre rotor y carcaza).....	10
Fig.1.2. Rendimiento de una bomba centrífuga.....	11
Fig.1.3 Rendimiento de una bomba de desplazamiento positivo.....	12
Fig.1.4. Partes de una bomba centrifuga.....	14
Fig.1.5. Conexión de bombas en serie.....	16
Fig.1.6. Conexión de bombas en paralelo.....	18
Fig.2.1. Curva de funcionamiento de una bomba.....	19
Fig.2.2. Curva de la eficiencia de una bomba centrífuga.....	21
Fig.2.3. Curva característica de un sistema de bombeo.....	24

Fig.2.4. Curva característica de la cabeza neta positiva de succión disponible...	29
Fig.2.5. Presión de vapor del agua en función de la temperatura.....	31
Fig.2.6. Punto de operación de un sistema de bomba.....	32
Fig.3.1. Plano en 3D de banco de pruebas.....	34
Fig.3.2. Esquema Hidráulico y componentes.....	35
Fig.3.3. Trayectoria 1 y 2 (Funcionamiento independiente).....	36
Fig.3.4. Trayectoria 3 Conexión en Serie.....	36
Fig.3.5 Trayectoria 4 conexión en Paralelo.....	37
Fig.3.6. Esquema del sistema para trayectoria uno y trayectoria dos.....	41
Fig.3.7. Curva de la bomba (dada por el fabricante ANEXO B).....	42
Fig.3.8. Tubería que se proyecta hacia adentro.....	47
Fig.3.9. Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro, a) Compresión...	50

Fig.3.10. Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro, b) Expansión...	51
Fig.3.11. Dimensiones físicas del rotámetro modelo LSZ-50.....	52
Fig.3.12. Coeficiente de pérdida k para expansión suave.....	54
Fig.3.13. Coeficiente de pérdida k para compresión suave.....	55
Fig.3.14. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 1)....	59
Fig.3.15. Curva de la bomba desarrollada por el fabricante (ANEXO B).....	60
Fig.3.16. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria 1).....	60
Fig.3.17. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 2)....	67
Fig.3.18. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria 2).....	68
Fig.3.19. Esquema cálculo Bombas conectadas en serie.....	69
Fig.3.20. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en serie).....	75
Fig.3.21. Curva de la bomba desarrollada para trayectoria en serie.....	75
Fig.3.22. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria en serie).....	76
Fig.3.23. Esquema calculo Bombas conectadas en Paralelo.....	77
Fig.3.24. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en paralelo).....	85
Fig.3.25. Curva de la bomba desarrollada para trayectoria en paralelo.....	85
Fig.3.26. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria en paralelo).....	86
Fig.3.27. Dimensiones del tanque	87

Fig.3.28. Bomba Centrífuga ½ HP.....	88
Fig.3.29. Tubería PVC.....	90
Fig.3.30. Regulador de caudal.....	90
Fig.3.31. Manómetro 0 – 150 PSI con conexión vertical.....	91
Fig.3.32. Válvula de bola de media vuelta.....	92
Fig.3.33. Medidor de Flujo de Área Variable.....	93
Fig.3.34. Contactor.....	94
Fig.3.35. Pulsador.....	95
Fig.3.36. Amperímetro.....	95
Fig.3.37. Switch Selector.....	96
Fig.3.38. Breaker	96
Fig.4.1. Trayectoria 1 en 3D.....	97
Fig.4.2. Punto de operación practico proyectado trayectoria 1	99
Fig.4.3. Punto de Operación Teórico	100
Fig.4.4. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria 1.....	101
Fig.4.5. Curva de la bomba dada por el fabricante.....	102
Fig.4.6. Trayectoria2 en 3D	103
Fig.4.7. Punto de operación practico en trayectoria 2.....	105
Fig.4.8. Punto de operación Teórico.....	105
Fig.4.9. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria 2.....	156
Fig.4.10. Curva de la bomba dada por el fabricante	106
Fig.4.11. Trayectoria en serie en 3D	107

Fig.4.12. Punto de operación practico en trayectoria Serie.....	109
Fig.4.13. Punto de Operación Teórico.....	106
Fig.4.14. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria Serie.....	110
Fig.4.15. Curva de las bombas centrifugas conectadas en serie.....	110
Fig.4.16. Trayectoria en paralelo en 3D.....	112
Fig.4.17. Punto de operación practico en trayectoria Paralelo.....	113
Fig.4.18. Punto de operación practico.....	114
Fig.4.19. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria Paralelo.....	115
Fig.4.20. Curva teórica de dos bombas conectadas en paralelo.....	115

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Presión de vapor del agua a diferentes temperaturas.....	30
Tabla 3.1. Selección de tubería a la succión y descarga.....	38
Tabla 3.2. Características del agua.....	40
Tabla 3.3. Velocidades recomendables según el tamaño de tubería.....	43
Tabla 3.4. Valores de Flujo laminar o turbulento.....	44
Tabla 3.7. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 1).....	59
Tabla 3.8. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 2).....	67
Tabla 3.9. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en Serie).....	74
Tabla 3.10. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en paralelo).....	84

Tabla 3.11. Características de bomba.....	88
Tabla 4.1. Resultados teóricos del punto de operación en trayectoria 1.....	98
Tabla 4.2. Resultados prácticos de operación en trayectoria 1.....	100
Tabla 4.5. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria1.....	103
Tabla 4.6. Resultados de eficiencia teórica vs practica trayectoria1.....	104
Tabla 4.7. Resultados teóricos del punto de operación en trayectoria 2-.....	105
Tabla 4.8. Resultados prácticos de operación en trayectoria 2.....	106
Tabla 4.9. Resultados prácticos del punto de operación en trayectoria 2....	107
Tabla 4.10. Resultados prácticos en el punto de operación en serie.....	108
Tabla 4.11. Resultados prácticos en el punto de operación en serie.....	109
Tabla 4.12. Porcentaje de error en resultados de punto de operación en trayectoria en serie.....	110
Tabla 4.13. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria en serie.....	111
Tabla 4.14. Resultados prácticos de operación trayectoria en paralelo.....	113
Tabla 4.15. Resultados prácticos del punto operación de trayectoria en paralelo.....	114
Tabla 4.16. Porcentaje de error en resultados de punto de operación en trayectoria en paralelo	114
Tabla 4.20. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria en paralelo.....	116
Tabla 5.1. Costo de material eléctrico.....	117
Tabla 5.2. Costo de material hidráulico.....	118
Tabla 5.3. Costo de accesorios.....	119
Tabla 5.4. Costo de mano de obra.....	120
Tabla 5.5. Costo total del proyecto.....	121

RESUMEN

El presente proyecto comprende el diseño, construcción y guías de laboratorio de un banco de pruebas para bombas centrífugas hidráulicas operadas en configuración individual, serie y paralelo para el laboratorio de fluidos de la Universidad Politécnica Salesiana. Para conseguir este objetivo, se requiere de un análisis de su comportamiento y las condiciones de operación bajo las cuales presta sus servicios.

Por el análisis teórico, se obtienen los criterios necesarios en base de los cuales se seleccionan las dimensiones que debe tener el prototipo y todos sus elementos constitutivos. Conjuntamente se analiza la problemática de su construcción, para de esta manera conseguir un ensamble correcto entre todos los elementos, estableciendo sus respectivos procedimientos y ajustes.

Se incluyen sistemas de medición necesarios para evaluar el funcionamiento real del banco de pruebas. El costo de los materiales utilizados para la construcción del banco de pruebas esta detallado en el capítulo V de igual manera el costo total del proyecto está dentro del rango presupuestado inicialmente, todos los elementos que formaran parte en este proyecto se los puede comprar en el mercado nacional. Las guías de laboratorio detallan el procedimiento experimental que debe realizar el estudiante para obtener las diferentes configuraciones que permite el banco de pruebas con las cuales obtiene los datos necesarios para elaborar cálculos teóricos y comparar con los datos prácticos.

De esta forma se ha hecho un análisis experimental que confirma la validez del estudio teórico correspondiente.

Las pruebas realizadas evidencian que el análisis teórico y práctico se asemeje a los resultados.

¹¹ ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

ABSTRACT

“DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEST BENCH FOR CENTRIFUGAL PUMPS CONNECTED IN SERIES AND PARALLEL”

This project entails the design, construction and lab guides a test for hydraulic centrifugal pumps operated in individual configuration, series and parallel to the laboratory of fluid from the Salesiana University. To achieve this objective, requires an analysis of their behavior and operating conditions under which it serves.

For the theoretical analysis are obtained based on the criteria of which the dimensions are selected must have the prototype and all its constituent elements. Together they discussed the problems of construction, to thereby achieve a correct assembly of all the elements, setting their own procedures and adjustments.

This includes metrics needed to assess the actual operation of the test. The cost of materials used to construct the test is detailed in Chapter v Likewise the total project cost is within the range originally budgeted, all the elements that take part in this project can be purchased at the market country. Laboratory guides detail the experimental procedure to be performed by the student for the different configurations that allow the test with which to get the information required for comparison with theoretical calculations and practical data

In this manner has an experimental analysis confirms the validity of relevant theoretical study.

Tests show that the theoretical and practical analysis resembles the results.

¹² ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

TEMA:

Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas en serie y paralelo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La Universidad Politécnica Salesiana sede Quito – campus- Kennedy; carece de un banco de pruebas que permita la simulación de bombas centrífugas hidráulicas operadas en configuración individual, serie y paralelo que demuestre la teoría impartida en clase con métodos prácticos de desarrollo.

JUSTIFICACIÓN:

El laboratorio de fluidos de la Universidad Politécnica Salesiana tiene la necesidad de implementar un banco de pruebas que enriquezca los conocimientos de hidráulica de los estudiantes y mediante la realización de prácticas mejoren la interpretación y utilidad de las bombas centrífugas hidráulicas.

ALCANCE:

- a) Elaboración de planos hidráulicos
- b) Diseño y construcción.
- c) Análisis de resultados teórico vs. práctico.
- d) Guías de prácticas de laboratorio de las trayectorias.
- e) Guías de funcionamiento de las cuatro configuraciones.

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir un banco de pruebas para el análisis de bombas operadas en configuración individual, serie y paralelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Considerar una adecuada potencia de las bombas centrífugas para satisfacer las necesidades de las distintas trayectorias.
- b) Plasmar una configuración hidráulica en el banco de pruebas que permita realizar las simulaciones en las diferentes trayectorias

¹³ ROCA, Felín. Oleohidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22
planteadas.

- c) Realizar el análisis de resultados teóricos vs. prácticos, de los resultados obtenidos en las diferentes trayectorias del banco de pruebas a distintas etapas de restricción de caudal.
- d) Elaborar guías de laboratorio didácticas que permitan a los estudiantes realizar las prácticas en sus diferentes trayectorias y relacionarlas entre ellas.

HIPOTESIS:

- a) Los planos hidráulicos nos permitirán realizar las siguientes configuraciones:
 - Dos bombas centrífugas en configuración individual (trayectoria 1 y trayectoria 2).
 - Dos bombas centrífugas en configuración en serie (trayectoria 3).
 - Dos bombas centrífugas en configuración en paralelo (trayectoria 4).
- b) El análisis Teórico vs. Práctico, obtenidos en las diferentes trayectorias del banco de pruebas a distintas etapas de restricción de caudal, no excederán del 10 % de error.
- c) Las guías didácticas de laboratorio permitirán al estudiante realizar cuatro prácticas.

METODOLOGÍA:

Método Deductivo.- Mediante ella se aplican los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios. Consiste en encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos.

Método Inductivo.- Es el razonamiento que, partiendo de casos particulares, Se eleva a conocimientos generales. Este método permite la formación de hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones.

¹⁴ ROCA, Felip. Oleohidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

CAPITULO I

1. BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas son los elementos destinados a elevar un fluido desde un nivel determinado a otro más alto, o bien, a convertir la energía mecánica en hidráulica. Según el tipo de aplicación se usará uno u otro tipo de bomba.

Actualmente las bombas son los aparatos más utilizados después del motor eléctrico, y existe una gran variedad de bombas para traslado de líquidos y gases, y para presurizar o crear vacío en aplicaciones industriales. Genéricamente las bombas pueden dividirse en dos tipos: de desplazamiento no positivo (hidrodinámicas), y de desplazamiento positivo (hidrostáticas). Las primeras se emplean para traslado de fluidos y las segundas para la transmisión de energía.

El proceso de transformación de energía se efectúa en dos etapas:

- a) *Aspiración.*- Al comunicarse la energía mecánica a la bomba, esta comienza a girar y con esto se genera una disminución de la presión en la entrada de la bomba como el depósito de fluido se encuentra sometido a presión atmosférica, entonces se encuentra una diferencia de presiones lo que provoca la succión y con ello el impulso hidráulico hacia la entrada.
- b) *Descarga.*- al entrar fluido en la bomba lo toma y lo traslada hasta la salida y asegura por la forma constructiva de rotación que el fluido no retroceda. Dado esto, el fluido no encontrara más alternativa que ingresar al sistema que es donde se encuentra el espacio disponible, consiguiendo así la descarga.

Las bombas hidráulicas se clasifican en dos tipos:

¹⁶ ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

1.1.1 Bombas de desplazamiento no positivo (hidrodinámicas)

En estas bombas, generalmente empleadas para traslado de fluidos, la energía cedida al fluido es cinética, y funciona generalmente mediante una fuerza de rotación, por la cual el fluido entra en la bomba por el eje de la misma y es expulsado hacia el exterior por medio de un elemento (paletas, lóbulos, turbina) que gira a gran velocidad como se muestra en la figura 1.1.

Una bomba hidrodinámica no dispone de sistemas de estanqueidad entre los orificios de entrada y salida; por ello produce un caudal que variará en función de la contrapresión que encuentre el fluido a su salida. Si se bloquea totalmente el orificio de salida de una bomba de desplazamiento no positivo aumentará la presión y disminuirá el caudal hasta cero, a pesar de que el elemento impulsor siga moviéndose; esto se debe a que el rotor y la carcasa de la bomba generan una conexión entre la cámara de succión y descarga de la bomba, como se muestra en la figura 1.1.1.

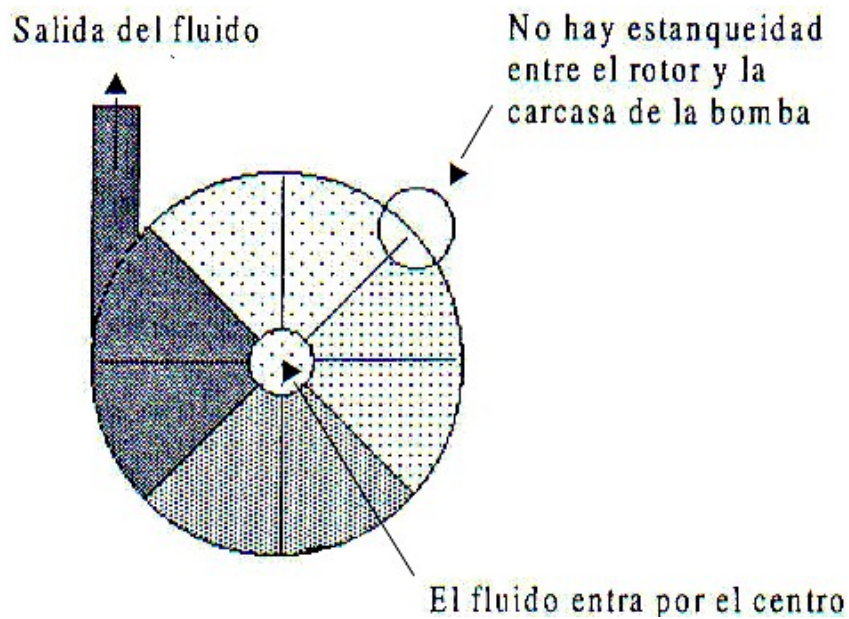


Fig. 1.1 Bomba de paletas¹

¹ ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

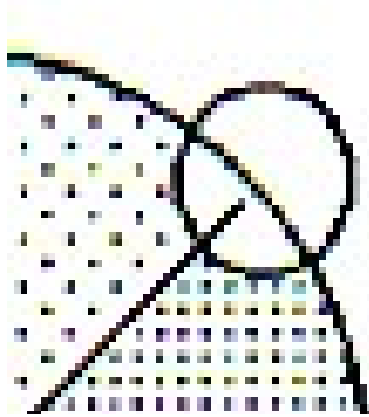


Fig. 1.1.1 Bomba de paletas (Estanquidad entre rotor y carcasa)

El caudal suministrado por la bomba no tiene suficiente fuerza para vencer la presión que encuentra en la salida, y al no existir estanquidad entre ésta y la entrada, el fluido fuga interiormente de un orificio a otro y disminuye el caudal a medida que aumenta la presión, según la gráfica de la figura 1.2.

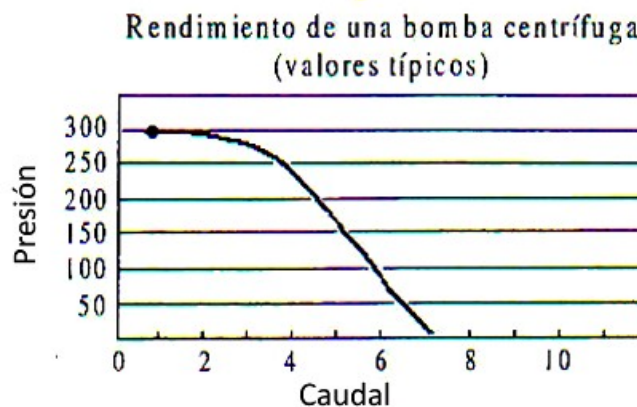


Fig. 1.2 Rendimiento de una bomba centrífuga²

En este tipo de bombas la presión máxima alcanzable variará en función de la velocidad de rotación del elemento impulsor; a pesar de ello se pueden conseguir presiones medias con bombas múltiples o de etapas, donde la salida de una es la aspiración de la siguiente, sumándose así las presiones. Debido a esta peculiaridad, las bombas hidrodinámicas sólo se emplean para mover fluidos en aplicaciones donde la resistencia a vencer sea pequeña.

² ROCA, Felip. Oleohidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 22

1.1.2 Bombas de desplazamiento positivo (hidrostáticas)

Las bombas hidrostáticas o de desplazamiento positivo son elementos destinados a transformar la energía mecánica en hidráulica. Cuando una bomba hidráulica trabaja, realiza dos funciones: primero su acción mecánica crea un vacío en la línea de aspiración que permite a la presión atmosférica forzar al líquido del depósito hacia el interior de la bomba; en segundo lugar su acción mecánica hace que este líquido vaya hacia el orificio de salida, forzándolo a introducirse en el sistema oleo hidráulico.

Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, que está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito.

Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema (no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga.

Una bomba hidrostática o de desplazamiento positivo es aquella que suministra la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida.

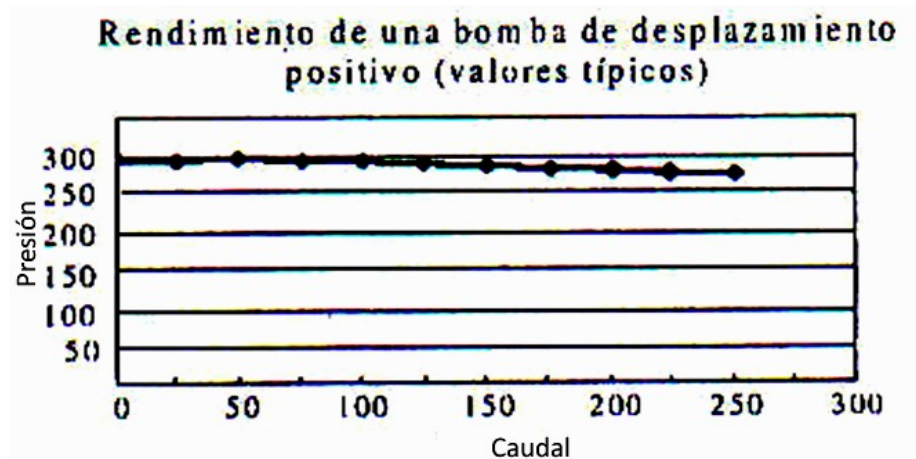


Fig. 1.3 Rendimiento de una bomba de desplazamiento positivo³

La homogeneidad de caudal en cada ciclo se consigue gracias a tolerancias muy ajustadas entre el elemento de bombeo y la carcasa de la bomba. Así, la

³ ROCA, Felip. Oleohidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 23

cantidad de líquido que fuga internamente en la bomba de desplazamiento positivo es mínima, y despreciable comparada con el máximo caudal de la misma. El volumen desplazado por ciclo o revolución permanece casi constante a pesar de las variaciones de presión contra las que trabaja la bomba.

Cuando estas bombas presenten fugas internas considerables deben ser reparadas o substituidas ya que no trabajan correctamente. El rendimiento volumétrico de las bombas de desplazamiento positivo, aunque varía de un tipo a otro, no debe ser inferior al 85%.⁴

La figura 1.3 representa la gráfica presión/caudal típica de una bomba de desplazamiento positivo, y se puede observar que el caudal se mantiene casi constante a pesar del incremento de la presión. Esto se debe a las reducidas fugas internas entre el elemento de bombeo y la carcasa.

La comparación entre las gráficas presión/caudal de las bombas hidrodinámicas y las hidrostáticas (figuras 1.2 y 1.3 respectivamente) hace comprender el porqué todas las bombas de los sistemas oleohidráulicos son de desplazamiento positivo.

Las tres razones más importantes son:

- a) En la bomba de desplazamiento positivo, cuando el esfuerzo a vencer por el sistema alcance un valor determinado (orientativamente entre 5 y 20 kg/cm², según el tipo de bomba), la bomba dejará de dar caudal, y el equipo se parará.⁵
- b) En el caso anterior, y aún antes de alcanzar este valor concreto de presión, el caudal va disminuyendo notablemente, por lo que no se dispone de un control preciso de la velocidad de movimiento del sistema.
- c) Las fugas internas en este tipo de bombas implican un elevado consumo de energía mecánica que se desaprovecha al no convertirse en energía hidráulica. Como ya se adelantaba en el capítulo primero, las bombas de desplazamiento no positivo se utilizan, casi exclusivamente, para el traslado de agua u otros líquidos, pero no para aplicaciones oleohidráulicas.

⁴ ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 23

⁵ ROCA, Felip. Oleohidraulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.pag. 24

1.2 Bombas hidrodinámicas

Las bombas hidrodinámicas o de desplazamiento no positivo tal como los tipos centrífugos o de turbina, se usan principalmente para transferir fluidos donde la única resistencia que se encuentra es la creada por el peso del mismo fluido y el rozamiento. Aunque estas bombas suministran un caudal uniforme y continuo, su desplazamiento disminuye cuando aumenta la resistencia.

1.2.1 Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica (voluta), de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas del rodete.

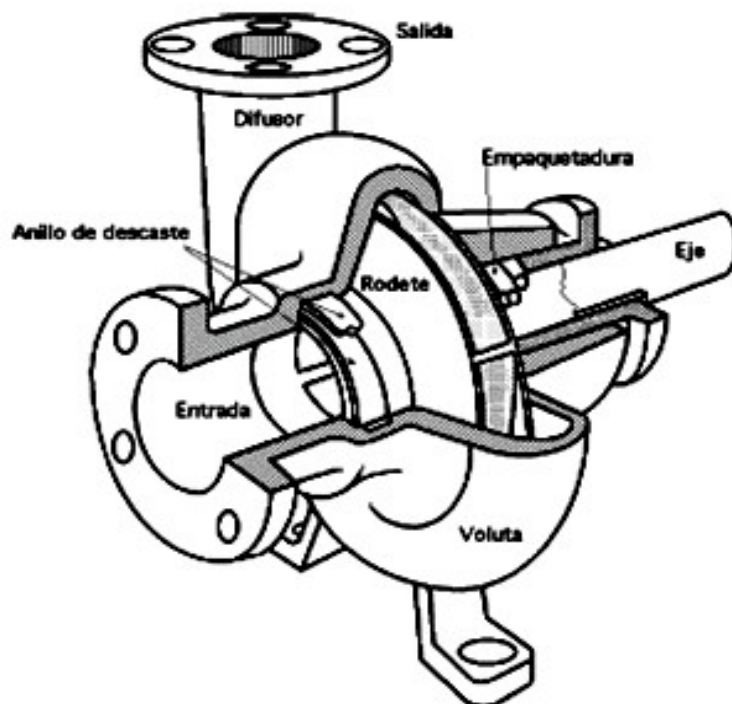


Fig. 1.4. Partes de una bomba centrífuga⁶

⁶http://1.bp.blogspot.com/_54l7SpvV_Os/TFLd9Z9n8ZI/AAAAAAAAASY/DJh1SM6DV3A/s1600/bomba+centrifuga.jpg

1.2.1.1 Clasificación de bombas centrífugas

- a) **Centrífugas o radiales:** son las más conocidas y a veces las únicas existentes en el mercado. Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga para impulsar el agua, razón por la cual ésta sale de la bomba en forma perpendicular al eje del rodete. En este tipo de bombas proporciona un flujo de agua uniforme y son apropiadas para elevar caudales pequeños a grandes alturas.

- b) **Bombas axiales o helicoidales:** no hacen uso de la fuerza centrífuga sino que mueven el agua en forma similar como lo hace un ventilador para mover el aire, el agua sale en forma paralela al eje de rotación del impulsor. Son especialmente indicadas para elevar grandes caudales ($11 \text{ m}^3/\text{seg.}$) a baja altura hasta 6 mca.⁷

- c) **Bombas de flujo mixto:** aprovechan las ventajas de las bombas helicoidales (sencillez y poco peso) y se modifica la forma de los álabes dándole una forma tal que le imparten al agua una cierta fuerza centrífuga. Alcanzan su mejor rendimiento con caudales entre 30 y 3000 lt/seg. y alturas de 3 a 18 mca.⁸

Considerando que en los equipos de riego localizado, generalmente, se usan las bombas de tipo centrífugas, en este capítulo, el análisis se centrará en éstas.

En una bomba centrífuga el motor hace girar un eje en el cual va montado el impulsor que está encerrado en la carcasa.

El agua ingresa a la bomba por el centro de la misma y al girar el rotor le imprime velocidad que al salir de la bomba se transforma en presión.

⁷ <http://www.fortunecity.es/imaginario/secreto/163/Quesbomb.htm>

⁸ <http://www.fortunecity.es/imaginario/secreto/163/Quesbomb.htm>

1.2.2 Formas de conexión de las bombas

Dos o más bombas se pueden conectar en serie y paralelo esto para lograr que se aumente su cabeza o el caudal de acuerdo al tipo de conexión que se realice para comprender de mejor manera los dos tipos de conexión los detallamos a continuación:

1.2.2.1 Conexión de bombas en serie

Al conectar dos o más bombas en serie se logra un aumento proporcional de la presión total o final del sistema. De esta forma existe una tubería de succión insertada en la fuente de agua y la salida de la primera bomba se conecta a la entrada de la siguiente, y así sucesivamente se tienen dos bombas conectadas en serie, tenemos:

Caudal: $Q_{\text{Total}} = Q_A = Q_B$

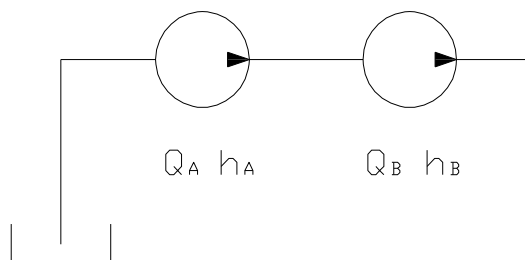
Cabeza: $h_{\text{Total}} = h_A + h_B$

$Q_{\text{Entrada}} = Q_A$ $Q_{\text{Salida}} = Q_B$

$H_{\text{Total}} = h_A + h_B$

H Total: Altura total entregada por la bomba

Q Total: Caudal total entregada por la bomba



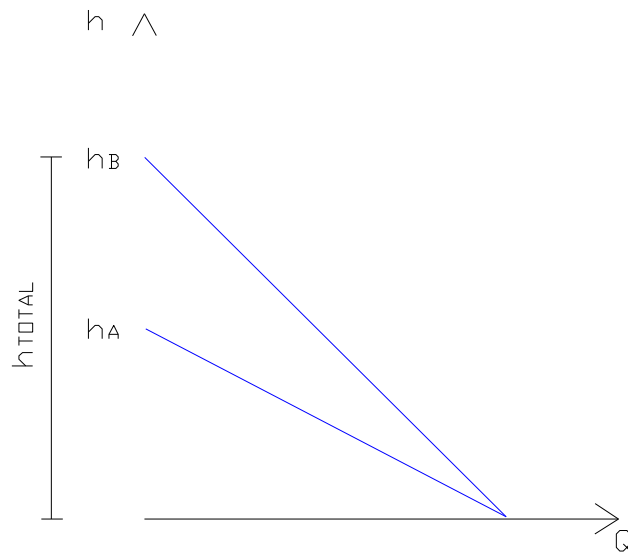


Fig. 1.5. Conexión de bombas en serie⁹.

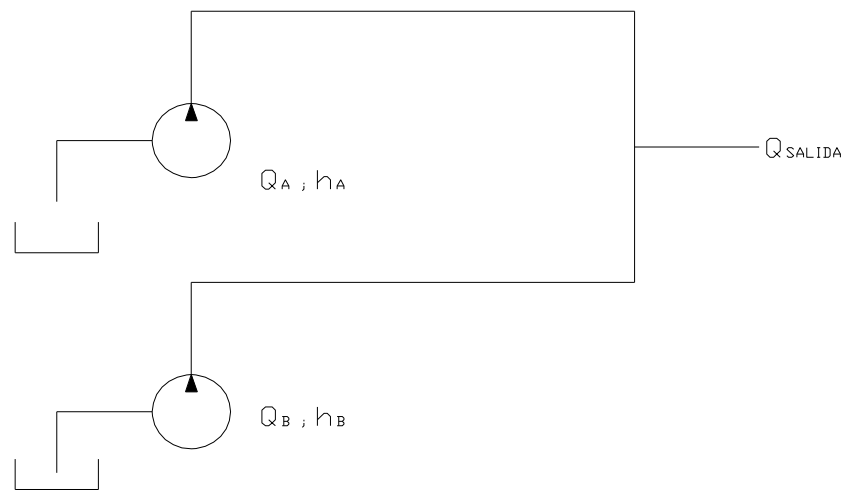
En la figura 1.5 se muestra el aumento de cabeza a determinado caudal; desarrolladas estas variables mientras se disminuye el caudal aumenta la cabeza, superando a la operación de una sola bomba.

1.2.2.2 Conexión de bombas en paralelo

Si dos o más bombas se acoplan en paralelo se logra como resultado un aumento del caudal elevado, sin un aumento de la presión. En este caso cada bomba tiene la succión inserta en la fuente de agua y se conectan todas las salidas a una común. De la misma forma, si se tienen tres bombas acopladas en paralelo, tenemos:

Caudal:	$Q_{Total} = Q_A + Q_B$
Cabeza:	$h_{Total} = h_A = h_B$

⁹ <http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas%20hidraulicas/BOMBAS.PDF>



$$Q_{Salida} = Q_A + Q_B$$

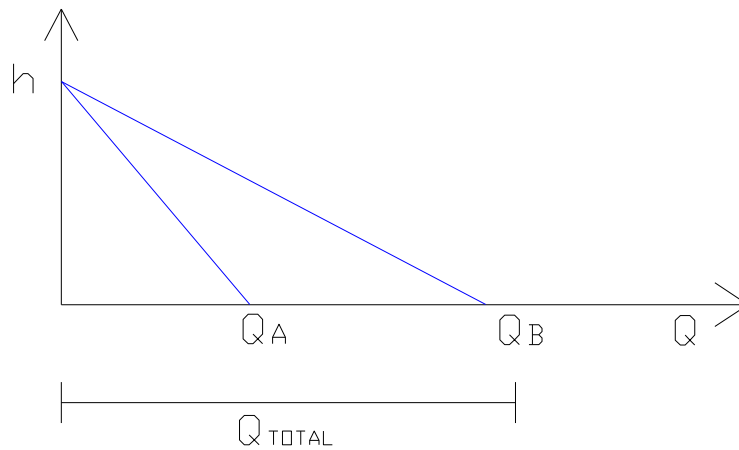


Fig. 1.6. Conexión de bombas en paralelo¹⁰.

En la figura 1.6 se muestra el aumento de caudal a determinado cabeza; desarrolladas estas variables mientras se disminuye la cabeza aumenta el caudal, superando a la operación de una sola bomba.

CAPITULO II

2. BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.1 Curvas características y punto de operación

Un sistema de bombeo se caracteriza por un conjunto de curvas que describen el comportamiento durante su operación. Estas curvas se denominan curvas características; todas estas curvas se trazan en función del caudal y a una velocidad de giro constante. En cada sección de este capítulo se aborda una curva característica, un gráfico de una curva típica, y las expresiones matemáticas necesarias para trazar dicha curva.

2.2 Curva característica del funcionamiento de la bomba

La curva de funcionamiento de una bomba es una gráfica que muestra la energía total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. En la Figura 2.1 se muestra una curva de Funcionamiento típica de una bomba centrífuga. La altura total entregada por la bomba disminuye a medida que el caudal aumenta.

El cálculo de la altura total entregada por la bomba requiere que se aplique el teorema de Bernoulli entre la succión (entrada) y la descarga (salida) de la bomba. La Ecuación 1 muestra el teorema de Bernoulli aplicada entre la succión y la descarga de una bomba.

Altura vs Caudal

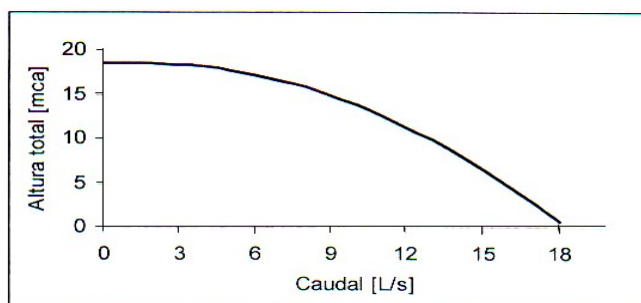


Fig. 2.1. Curva de funcionamiento de una bomba.¹

¹ MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996,pag.419,420

Ecuación 1. Teorema de Bernoulli aplicado entre la succión y la descarga de una bomba²

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$: Altura de succión en la entrada de la bomba (mca.)

$\frac{V_1^2}{2g}$: Altura de velocidad en la entrada de la bomba (mca.)

Z_1 : Altura potencial geodésica en la entrada o succión de la bomba (m.)

$\frac{P_2}{\gamma}$: Altura de descarga en la salida de la bomba (mca.)

$\frac{V_2^2}{2g}$: Altura de velocidad en la salida de la bomba (mca.)

Z_2 : Altura potencial geodésica en la descarga o salida de la bomba (m.)

h_A : Altura total entregada por la bomba (mca.)

Los diámetros de la tubería de succión y de descarga del banco experimental donde se miden las presiones son iguales (diámetro una pulgada, cedula 80), por lo que $V_s = V_d$. Teniendo en cuenta que las presiones medidas experimentalmente están en metros de columna de agua, al simplificar y despejar h_A de la Ecuación 1 se obtiene:

Ecuación 2. Altura total de la bomba del banco experimental³

$$h_A = P_2 - P_1 + (Z_2 - Z_1)$$

Donde:

h_A : Altura total entregada por la bomba (mca)

P_1 : Presión de entrada de la bomba (mca)

² MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996, pag.222

³ MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982, pag.110

P_2 : Presión de descarga en la salida de la bomba (mca)

Z_2 : Altura potencial geodésica en la entrada o succión de la bomba (m)

Z_1 : Altura potencial geodésica en la descarga o salida de la bomba (m)

V_s : Velocidad de succión (m/s) V_d

: Velocidad de descarga (m/s)

2.3 Curva característica de la eficiencia de la bomba

La eficiencia de la bomba es otra curva característica de un sistema de bombeo que se traza en función del caudal a una velocidad de giro constante. La eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor. En la Figura 2.2 se muestra una curva típica de la eficiencia de una bomba centrífuga. El valor de la eficiencia es cero cuando el caudal es cero. A medida que el caudal aumenta, la eficiencia aumenta hasta un valor máximo, denominado punto de máximo rendimiento. A partir de este punto, cuando aumenta el caudal, la eficiencia disminuye. La ecuación 3 es la expresión matemática que se utiliza para calcular la eficiencia de una bomba.

Eficiencia vs. Caudal.

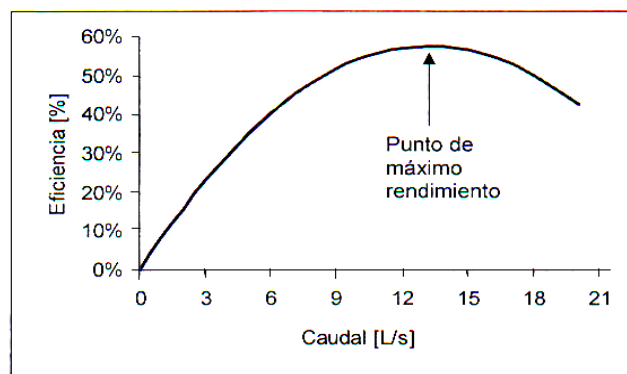


Fig. 2.2. Curva de la eficiencia de una bomba centrífuga.⁴

⁴ MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996, pag.420

Ecuación 3. Eficiencia de una bomba⁵

$$P_e = \frac{P_h}{n}$$

Donde:

P_h : Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido (w)

P_e : Potencia eléctrica agregada (w)

n : Eficiencia

2.3.1 Potencia hidráulica entregada por la bomba

Es el producto del peso específico del fluido, el caudal entregado por la bomba y la altura total desarrollada por la bomba.

Ecuación 4. Potencia hidráulica entregada por una bomba

$$P_h = \gamma \cdot Q \cdot h_A$$

Donde:

P_h : Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido (w)

γ : Peso específico del fluido ($\frac{N}{m^3}$)

Q : Caudal Volumétrico ($\frac{m^3}{s}$)

h_A : Altura total entregada por la bomba (mca)

2.3.1.1 Caudal volumétrico en una tubería.

El volumen de fluido que ingresa por una tubería en unidad de tiempo, es el producto de la velocidad del fluido y el área transversal de la sección por donde se traslada. El caudal volumétrico se expresa por medio de la Ecuación 6.

Ecuación 6. Caudal volumétrico en una tubería⁶

⁵ MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996, pag.201

⁶ MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982, pag.95

$$Q = v.A$$

Donde:

Q : Caudal Volumétrico $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A : Área de una sección transversal del tubo (m^2)

v : Velocidad media normal a la sección considerada $\left(\frac{m}{s}\right)$

2.3.2 Potencia eléctrica suministrada por el motor a la bomba

La bomba del banco experimental es movida por un motor monofásico. La potencia eléctrica que consume dicho motor es el producto del voltaje, la intensidad de corriente, el factor de potencia. La Ecuación 7 expresa la potencia que consume un motor monofásico.

Ecuación 7. Potencia eléctrica consumida por un motor monofásico⁷

$$P = V. I. \cos \varphi$$

Donde:

P = Potencia en watt (w)

V = Voltaje o tensión (volt)

I = Valor de intensidad (A)

$\cos \varphi$ = Factor de potencia constante para luz eléctrica.

2.4 Curva característica del sistema de bombeo

La curva de un sistema de bombeo es una gráfica que muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal a una velocidad de giro constante. La altura de bombeo requerida por el sistema es igual a la elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido más la pérdida total de carga en todo el sistema (ver Ecuación 8). La obtención de la curva característica de un sistema de bombeo puede hacerse de varias formas. Una de ellas consiste en variar el

⁷ http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_3.htm

caudal que circula por el sistema restringiendo el porcentaje de apertura de la válvula en la línea de descarga.

En este caso se debe calcular la altura requerida para cada valor de caudal, sumando las pérdidas totales en el sistema con la elevación que la bomba le debe dar al fluido. Otra forma de obtener la curva de un sistema es variando las revoluciones del motor. Este método requiere que se conozca el punto de operación a una velocidad de giro dada. Para obtener la curva, se comienza a operar el sistema en el punto de operación que se conoce. Las siguientes mediciones se toman con el sistema operando igual, excepto que se va disminuyendo la velocidad de giro del motor. Ahora, se debe calcular la altura total agregada por la bomba al fluido, y se debe medir el caudal para cada velocidad de giro. Los valores de caudal y las alturas desarrolladas por la bomba se grafican y esta es la curva del sistema.

Ecuación 8. Altura requerida por un sistema de bombeo.⁸

$$h_R = Z_B + h_L$$

Donde:

h_R : Altura requerida por un sistema de bombeo [mca].

Z_B : Elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido [m]

h_L : Pérdida total de carga en todo el sistema [mca].

Altura requerida vs. Caudal.

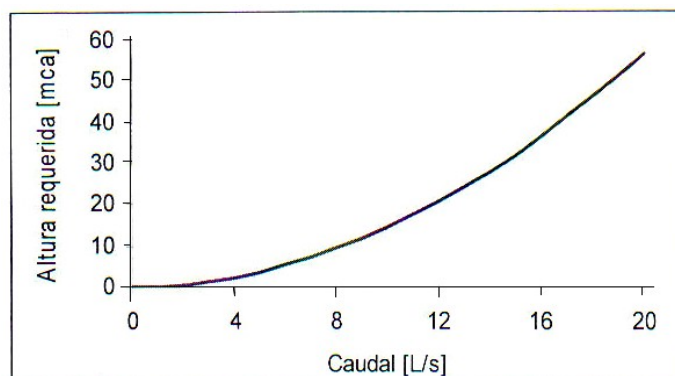


Fig. 2.3. Curva característica de un sistema de bombeo.⁹

⁹ FRANZINI, Segunda Edición, Año de publicación 1999, pag/425
http://www.asi.uncoma.com/electrotecnica/te_potencia/te_potencia_elect_3.htm

Una curva característica típica de un sistema de bombeo, donde la elevación que la bomba le debe dar al fluido es cero, se muestra en la Figura 2.3. En este caso, cuando el caudal es igual a cero, la altura de bombeo requerida por el sistema también es cero. Cuando la bomba le debe proporcionar al fluido cierta elevación, la curva característica del sistema empieza en ese valor de altura, es decir, cuando el caudal es cero, la altura de bombeo requerida es igual a dicha elevación. La altura de bombeo requerida por el sistema aumenta a medida que el caudal aumenta.

2.4.1 Pérdidas de carga en un sistema de bombeo

La pérdida total de carga en un sistema de bombeo es la suma de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias (ver Ecuación 9).

Ecuación 9. Pérdida total de carga en un sistema de bombeo.¹⁰

$$h_L = h_{rp} + h_{rs}$$

Donde:

h_L : Pérdida total de carga en todo el sistema [mca].

h_{rp} : Pérdidas primarias de carga en el sistema [mca].

h_{rs} : Pérdidas secundarias de carga en el sistema [mca].

2.4.1.1 Pérdidas primarias de carga

En contacto del fluido con la tubería, el rozamiento entre las capas del fluido en el régimen laminar y el rozamiento de las partículas de fluido entre sí en el régimen turbulento, origina pérdidas de energía hidráulica denominadas pérdidas primarias o pérdidas en tramo recto. Las pérdidas primarias en una tubería son función del factor de fricción, la longitud y el diámetro de la misma, así como de la velocidad del fluido. Estas se calculan por medio de la fórmula de Darcy – Weisbach (ver Ecuación 10.)

⁹ FRANZINI, Segunda Edición, Año de publicación 1999, pag.425

¹⁰ MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982, pag.203

Ecuación 10. Fórmula de Darcy – Weisbach para pérdidas primarias¹¹

$$h_{rp} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_{rp} : Pérdidas primarias de carga en una tubería (mca.)

f : Factor de fricción de la tubería (adimensional.)

L : Longitud de la tubería (m.)

D : Diámetro de la tubería (m.)

2.4.1.1.1 El factor de fricción de una tubería

Es un número adimensional que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería. Para el cálculo de este factor se utiliza el diagrama de Moody. Este diagrama está constituido por dos ecuaciones, la Ecuación 11 se utiliza para flujo laminar ($Re < 2000$) y la Ecuación 12 para flujo turbulento ($Re > 4000$)

Ecuación 11. Fórmula de Poiseuille. Factor de fricción para flujo laminar ($Re < 2000$)¹²

$$f = \frac{64}{Re}$$

Donde:

f : Factor de fricción de la tubería [adimensional].

Re : Número de Reynolds [adimensional].

Ecuación 12. Fórmula de Colebrook. Factor de fricción para flujo turbulento

(Re>4000)¹³

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f : Factor de fricción de la tubería [adimensional].

ε : Rugosidad absoluta de la tubería [m].

D : Diámetro de la tubería [m].

Re : Número de Reynolds [adimensional].

2.4.1.1.2 Número de Reynolds.

El cociente de las fuerzas inerciales por las fuerzas viscosas de un fluido se denomina número de Reynolds. Este parámetro adimensional determina si un fluido es laminar o turbulento y se calcula por medio de la Ecuación 13.

Ecuación 13. Número de Reynolds¹⁴

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds [adimensional].

v : Velocidad media del fluido [m/s].

D : Diámetro de la tubería [m].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

¹³ MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996, pag.223

¹⁴ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag.230

2.4.1.2 Pérdidas secundarias de carga.

Las pérdidas que se dan en las transiciones de la tubería (restricción, expansión o cambio de dirección de la corriente de fluido), tales como codos, válvulas, contracciones, y en general en todos los accesorios de la tubería, se denominan pérdidas secundarias.¹⁵

Ecuación 15. Fórmula fundamental para pérdidas secundarias¹⁶

$$h_{rp} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_{rp} : Pérdidas secundarias de carga [mca].

k : Coeficiente de pérdida de carga secundaria [adimensional].

v : Velocidad media del fluido [m/s].

g : Aceleración de la gravedad [m/s²].

El coeficiente de pérdida de carga secundaria K (ver Ecuación 15) depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y de la configuración de la corriente antes del accesorio. Los valores de K para cada tipo de accesorio se calculan experimentalmente y se pueden consultar en tablas.

2.5 Curva característica de la cabeza neta de succión positiva disponible

La cabeza neta de succión positiva disponible (NPSH_d) también es una curva característica que se obtiene en función del caudal a una velocidad de giro constante. El NPSH_d esta es función de las propiedades del fluido y de las características del sistema de bombeo. La Ecuación 16 permite calcular el valor

de $NPSH_d$ durante la operación de los sistemas alternativos del banco experimental.

En la Figura 2.4 se muestra una curva experimental del $NPSH_d$ en la entrada de una bomba.

Ecuación 16. Cabeza neta positiva de succión disponible¹⁷

$$NPSH_d = h_e + h_v + \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde:

$NPSH_d$: Cabeza neta positiva de succión absoluta disponible [mca].

h_e : Cabeza de presión estática (absoluta) en la entrada de la bomba [mca].

h_v : Presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo [mca].

V_s : Velocidad del fluido en la entrada de la bomba [m/s].

g : Aceleración gravitacional [9.8 m/s²].

NPSH_d vs. Caudal.

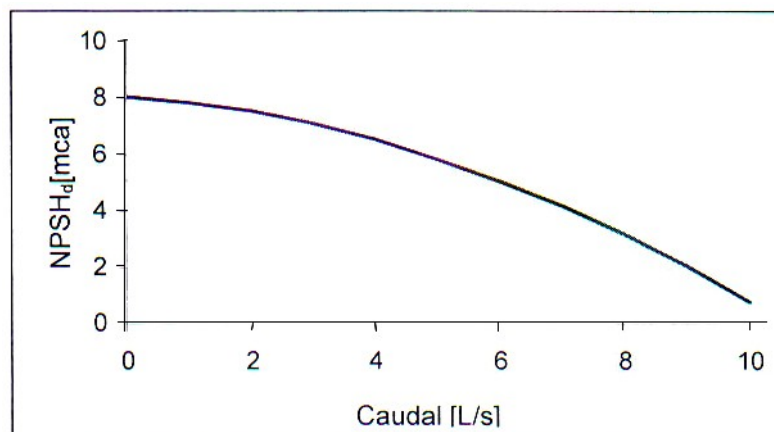


Fig. 2.4. Curva característica de la cabeza neta positiva de succión disponible.

2.5.1 Presión de vapor de un fluido.

Es una propiedad que tienen todos los líquidos para cada valor de temperatura. Es la presión absoluta a la cual el fluido comienza a evaporarse, dado un valor

¹⁷ MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982, pag.399

de temperatura.¹⁸ El fluido que se maneja en el banco experimental es el agua. La presión de vapor del agua aumenta con la temperatura, tal como lo muestra la Figura 2.5 en la Tabla 2.1 presentan los valores de presión de vapor del agua desde 0°C hasta 41°C (°C=grados Celsius).

Temperatura [°C]	Presión de vapor [mca]	Temperatura [°C]	Presión de vapor [mca]
0	0,067628	21	0,27514
1	0,072699	22	0,29252
2	0,078113	23	0,31090
3	0,083870	24	0,33017
4	0,090004	25	0,35054
5	0,096526	26	0,37202
6	0,103468	27	0,39461
7	0,110853	28	0,41830
8	0,118692	29	0,44332
9	0,127018	30	0,46956
10	0,135853	31	0,49724
11	0,145220	32	0,52625
12	0,155163	33	0,55681
13	0,165692	34	0,58881
14	0,176853	35	0,62247
15	0,188656	36	0,65768
16	0,201156	37	0,69466
17	0,214376	38	0,73341
18	0,22830	39	0,77404
19	0,24314	40	0,81656
20	0,25875	41	0,86107

Tabla 2.1. Presión de vapor del agua a diferentes temperaturas.¹⁹

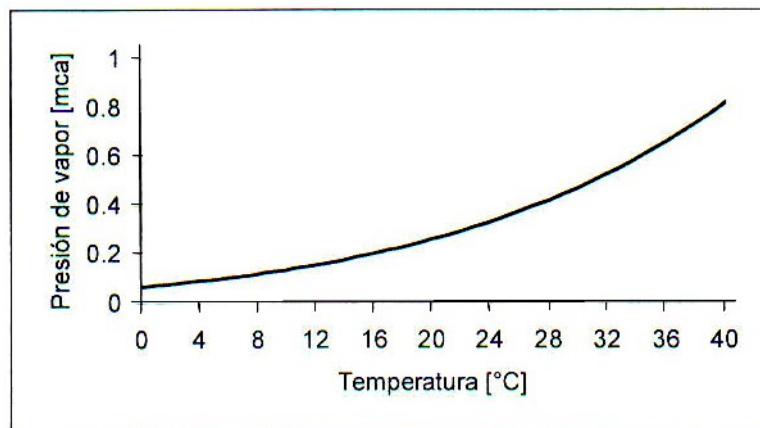


Fig.2.5. Presión de vapor del agua en función de la temperatura.²⁰

2.5.2 Cabeza neta de succión positiva requerida (NPSH_r)

La curva del NPSH_r debe compararse con la curva de la cabeza neta de succión positiva requerida (NPSH_r), la cual es proporcionada por el fabricante. El NPSH_r es la cabeza o altura total absoluta requerida en la entrada de la bomba para que en el líquido no se formen burbujas de vapor. Si la presión en la entrada de la bomba disminuye hasta el punto donde comienzan a formarse burbujas de vapor, la bomba comienza a cavitarse. Para que no se presente cavitación en una bomba, el valor de NPSH_d deberá ser siempre mayor al valor de NPSH_r.²¹

2.6 Punto de operación de un sistema de bombeo

El funcionamiento de una bomba es función de sus características y de las características del sistema de bombeo. Para encontrar el punto de operación de una bomba, se deben trazar dos curvas, la altura total entregada por la bomba (h_a vs. Q) y la curva característica del sistema (h_r vs. Q). Ambas curvas se deben trazar en función del caudal y a una velocidad de giro constante. El punto de operación es la intersección de estas dos curvas. El caudal y la altura

²⁰ MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982, pag.221

²¹ MOTT, Robert. Cuarta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 1996, pag.435

de operación de la bomba, se determinan hallando dicha intersección, tal como lo muestra la Fig.2.6.

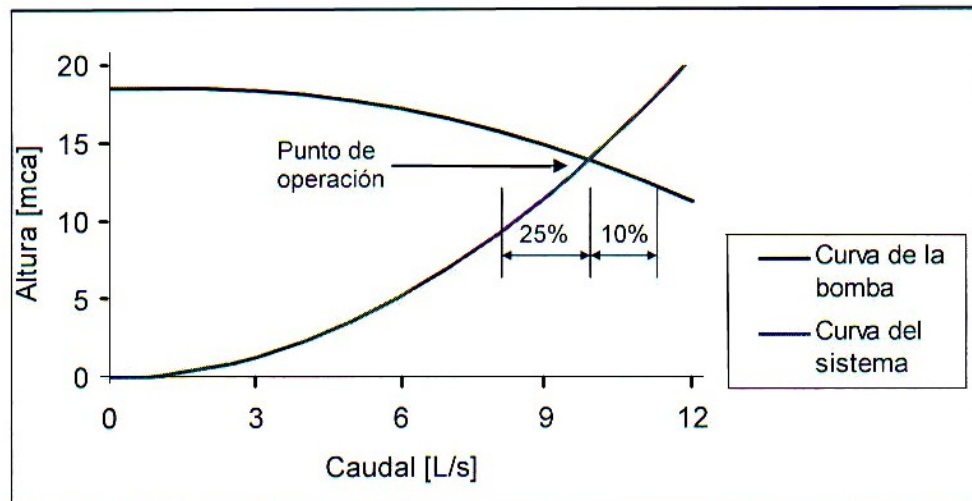


Fig.2.6. Punto de operación de un sistema de bombeo.²²

El punto de operación de un sistema de bombeo debe estar lo más cercano posible al punto de máximo rendimiento. Cuando el punto de operación está muy alejado del punto de máximo rendimiento, quiere decir que la bomba seleccionada no es la adecuada para las condiciones y características del sistema de bombeo (Franzini, 425, 1999). Además, el sistema debe operarse muy cerca al punto de operación. Las variaciones máximas recomendadas se muestran en la Fig.2.6. El caudal de un sistema de bombeo no debe disminuirse más de un 25 por ciento ni debe incrementarse más de un 10% con respecto al caudal del punto de operación del sistema.

²² FRANZINI, Segunda Edición, Año de publicación 1999, pag.425.

CAPITULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE BANCO DE PRUEBAS

3.1 Diseño de la estructura a través de un plano

Iniciando la realización del diseño se propone un esquema del banco de pruebas en el cual se tiene dos bombas centrífugas y accesorios necesarios para que efectúen cuatro sistemas diferentes de funcionamiento.

Esto se puede ejecutar gracias a que en el sistema se posee válvulas de restricción de caudal, mediante el cierre y apertura de válvulas, se logra tener los siguientes sistemas:

1. Dos sistemas que funcionan con trayectoria diferente.
2. Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento en conexión en serie.
3. Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento en conexión en paralelo.

Cada uno de los sistemas posee plano hidráulico que se detalla más adelante.

3.1.1 Esquema del Banco de Pruebas

El esquema de la Fig.3.1. Se propone para la construcción del banco de pruebas, las dimensiones son las siguientes:

- BASE: 1500 (mm)
- ANCHO: 890 (mm)
- ALTURA: 700 (mm)

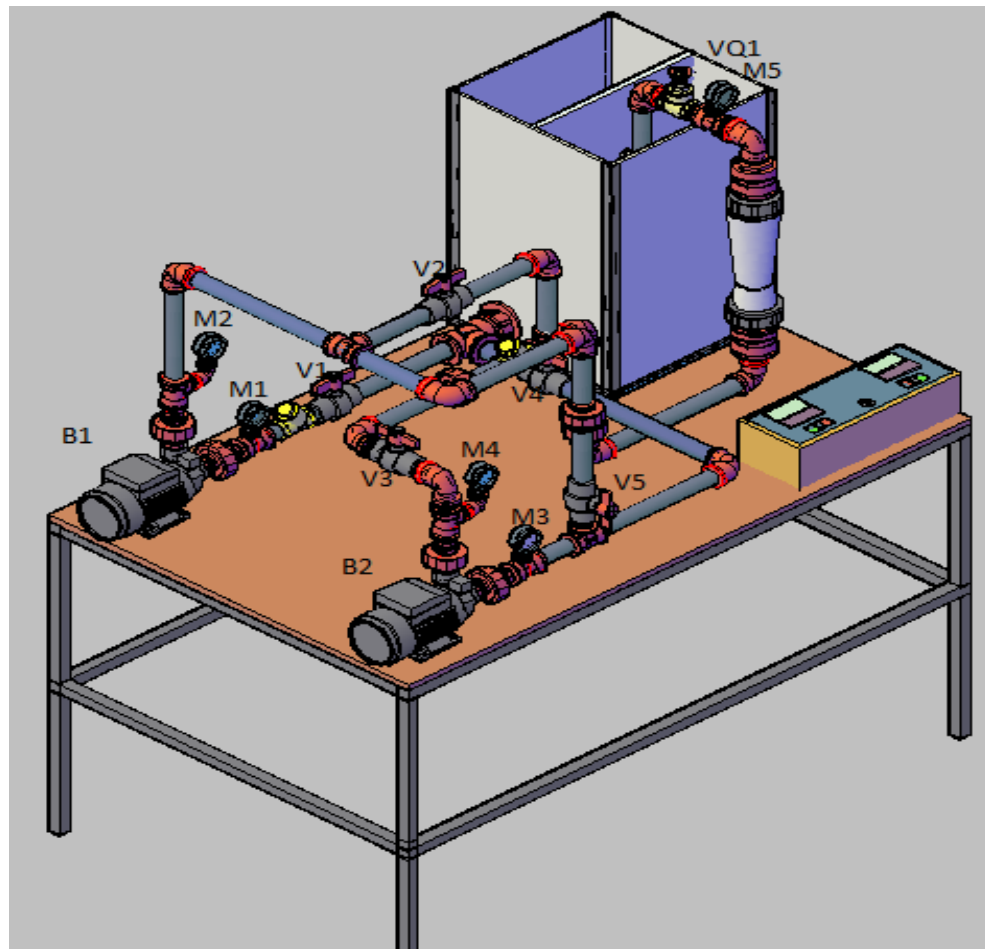


Fig. 3.1. Plano en 3D de banco de pruebas

3.1.2 Esquema Hidráulico del Banco de Pruebas

El esquema de la Fig. 3.2. Corresponde al plano hidráulico del banco de pruebas que muestra la configuración física que consta de los siguientes elementos:

- Bombas centrífugas
- Válvulas de restricción de caudal (check)
- Manómetros
- Válvula Reguladora de caudal
- Tubería
- Codos
- Uniones
- Universales
- Tanque

- Estructura metálica
- Rotámetro
- Filtro
- Pulsadores
- Contactores
- Breaker
- Fuente de Poder
- Amperímetros

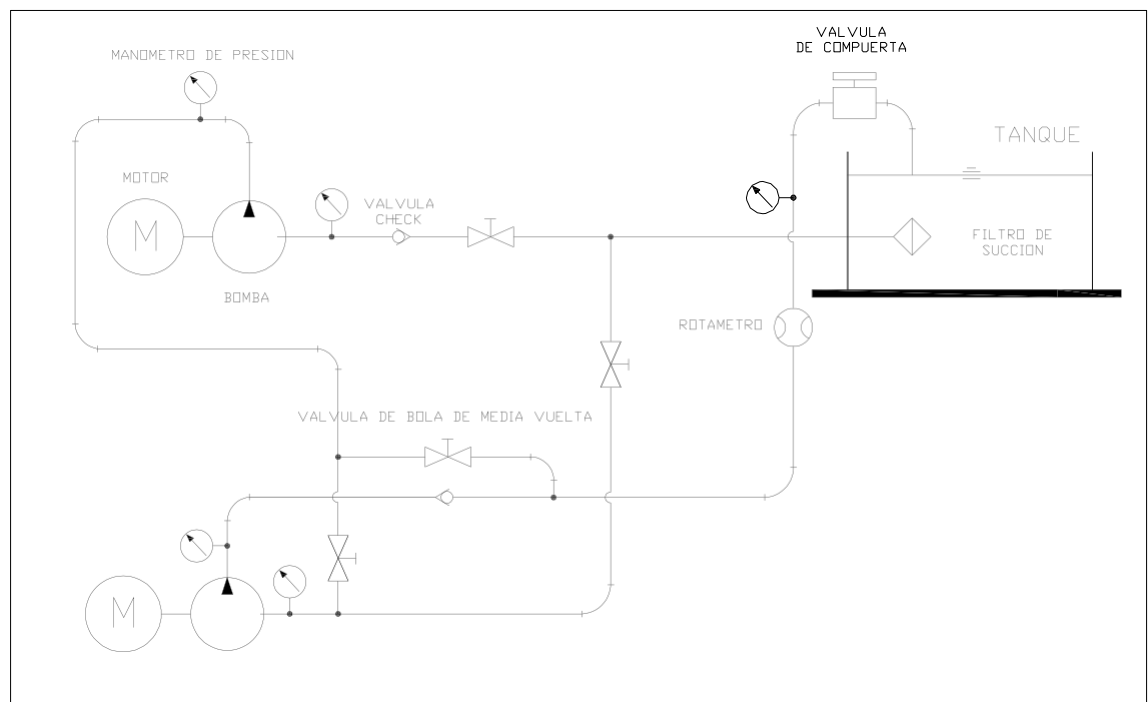


Fig.3.2. Esquema Hidráulico y componentes.

3.1.3 Esquema hidráulico de Trayectoria1 y Trayectoria 2

El banco de pruebas está diseñado para realizar conexiones de dos bombas centrífugas, en serie y paralelo, el diseño se ha elaborado de tal manera que pueda funcionar cada bomba centrífuga independientemente.

Estos dos sistemas se designan con el nombre de trayectoria 1 y trayectoria 2 los cuales se muestran en la Fig.3.3.

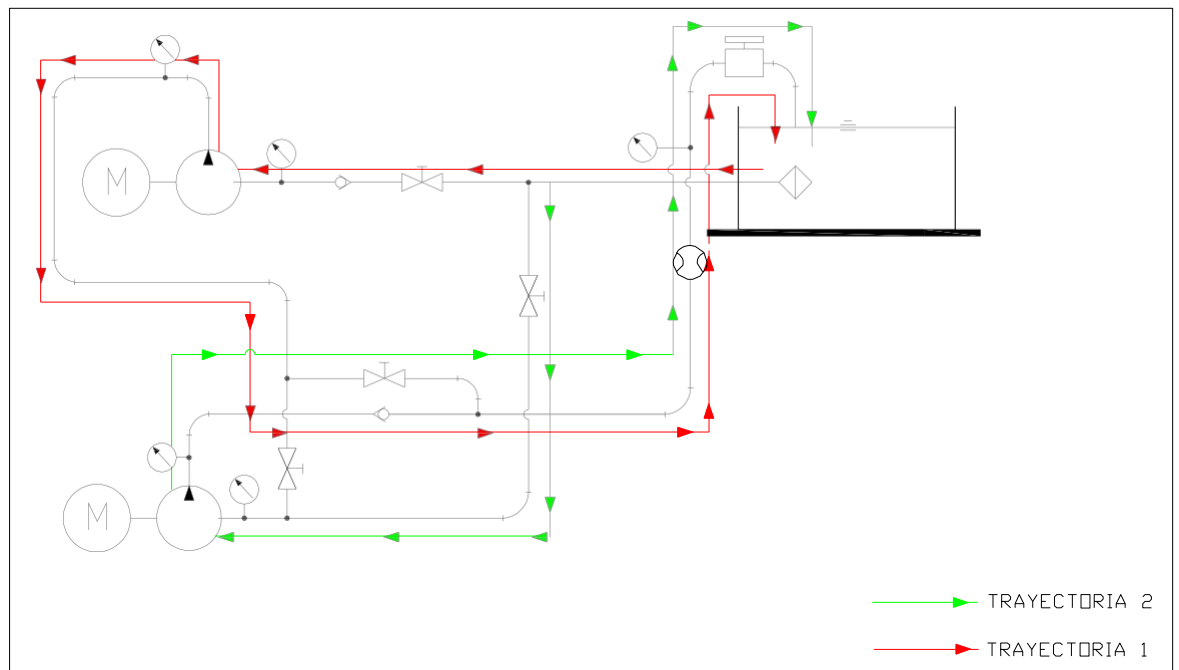


Fig.3.3. Trayectoria 1 y 2 (Funcionamiento independiente).

3.1.4 Esquema hidráulico de Trayectoria 3 (Conexión en serie)

En la Fig.3.4. Se detalla la trayectoria que tendrá el fluido en el banco de pruebas mediante una configuración en serie de dos bombas centrífugas que permitirá un aumento de presión manteniendo el mismo caudal.

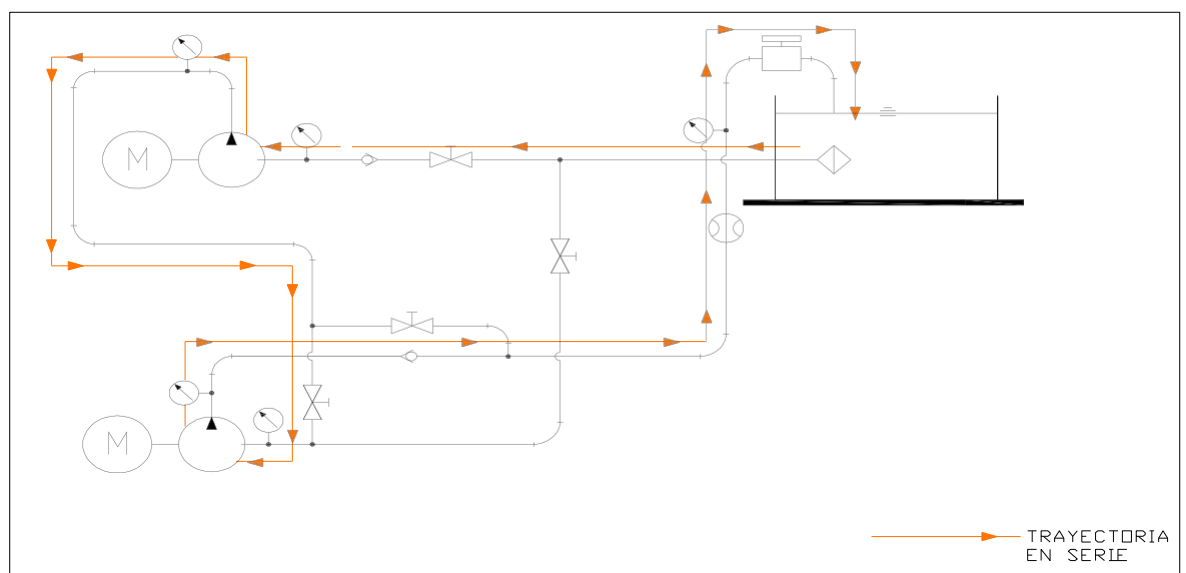


Fig. 3.4. Trayectoria 3 Conexión en Serie.

3.1.5 Esquema hidráulico de Trayectoria 4 (conexión en paralelo)

En la Fig.3.5. Se detalla la trayectoria que tendrá el flujo en el banco de pruebas para realizar una conexión en Paralelo de dos bombas centrífugas que nos permitirá un aumento de caudal manteniendo la misma presión.

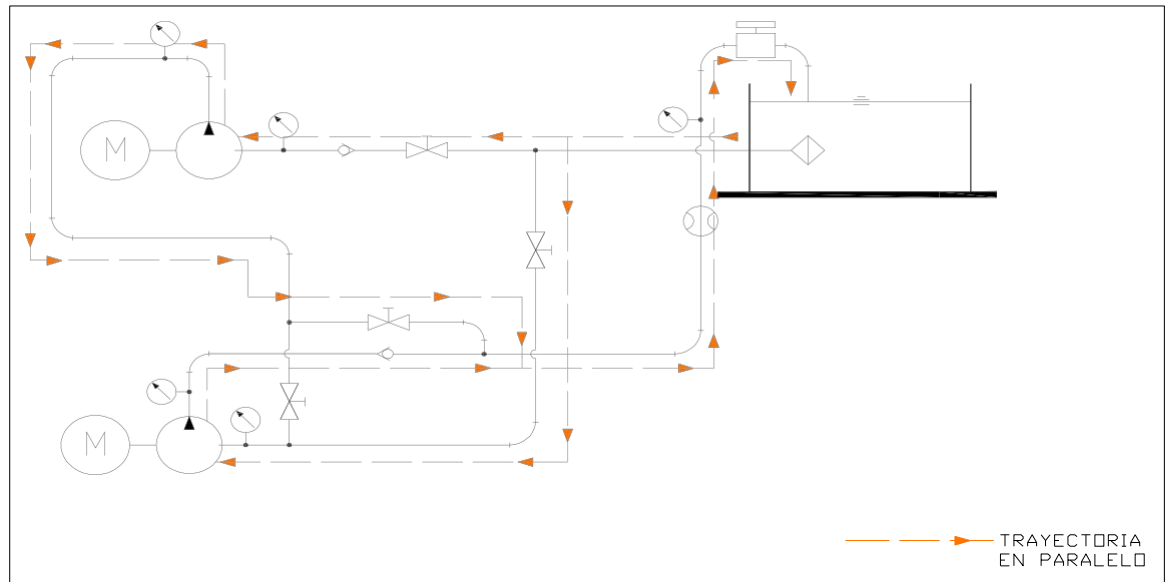


Fig. 3.5. Trayectoria 4. Conexión en Paralelo

3.2 Diseño del banco de pruebas y selección de equipos

El diseño se inicia con la elaboración de un esquema especificando las dimensiones que va a tener el equipo, luego se realiza planos hidráulicos de las distintas configuraciones de los sistemas que van a desarrollarse durante el funcionamiento y adicionalmente se seleccionará los instrumentos y accesorios que van a ser utilizados en el montaje del Banco de Pruebas.

3.2.1 Selección de la Bomba Centrífuga

Para la selección de la bomba se basará en algunos aspectos, que permiten establecer un tamaño adecuado de bomba para nuestro equipo:

- De acuerdo a proyectos similares al banco de pruebas propuesto encontrados en internet, se utilizan bombas centrífugas de ½ HP.

- b) Al ser un proyecto para un laboratorio no se requiere utilizar bombas centrífugas de potencia elevada.
- c) La mínima potencia de las bombas centrífugas que se comercializa en el mercado nacional son de ½ HP.

Así que por lo expuesto se propone utilizar una bomba de ½ HP.

3.2.2 Selección de la tubería

La bomba que se utilizara permite acoplar en la entrada y la salida tubería de 1" de diámetro nominal, de las cuales sus dimensiones son las siguientes:

Material de la tubería pvc	Tubería succión Diámetro nominal 1plg. cédula 80 (pulgadas)	Tubería descarga Diámetro nominal 1plg. cédula 80 (pulgadas)
D	1	1
D _e	1.315	1.315
E	0.179	0.179
D _i	0.957	0.957
D _R	0.906	0.906
€	5.0×10^{-6}	5.0×10^{-6}

Tabla 3.1. Selección de tubería a la succión y descarga.

Donde:

D: Diámetro nominal de la tubería (plg).

D_e: Diámetro exterior de la tubería (plg).

D_i: Diámetro interior de la tubería (plg).

D_R: Diámetro real interior de la tubería (plg).

e: Espesor de la tubería (plg).

€: Factor de Rugosidad de la tubería (m).

“Para tubería de PVC se considera un margen de tolerancia de +/- 0.051 plg. en dimensiones físicas”.¹

NOTA: El D_R (Diámetro real interior de la tubería) se lo considero tomando la medida interior, mediante un calibrador pie de rey y es con esta medida que se procederán a realizar los cálculos cuando de esta dimensión se requiera. El margen de error coincide con el rango de tolerancia según norma ASTM D 1785.

Como se utilizara tubería de 1” los accesorios tales como, válvulas, codos, te, universales, coladera, rotámetro serán de 1” de diámetro nominal y las características para los cálculos serán las siguientes:²

- a) Tubería que se proyecta hacia adentro ($k = 1.0$).
- b) Tubería que se proyecta hacia afuera ($k = 1.0$).
- c) Válvula de compuerta ($\frac{L_E}{D} = 340$).
- d) Válvula de pie con alcachofa ($\frac{L_E}{D} = 420$).
- e) Válvula de verificación tipo giratorio ($\frac{L_E}{D} = 100$).
- f) Válvula de bola de media ($k = 0.05$).
- g) Codo roscado Estándar 90° ($k = 1.5$).
- h) Tee roscado Estándar ($k = 0.9$) paso directo.
- i) Tee roscado Estándar ($k = 2$) paso de lado.
- j) Unión Estándar ($k = 0.08$)

3.2.3 Condiciones en las que va a trabajar el equipo

El equipo va a funcionar en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Kennedy; los datos ambientales de la ciudad de Quito son los siguientes:

¹ ASTM D1785, Dimensiones físicas y tolerancias en tuberías de PVC

² MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag.294, 295

Altura Sobre el nivel del mar: 2850 m

Temperatura Media: 10 °C

Presión Atmosférica: 546 mmHg=10.41Psi.

3.2.4 Fluido a utilizar en el banco de Pruebas

El fluido que se va a utilizar para el desarrollo del Banco de Pruebas será agua y sus características son las siguientes:

Agua
$T = 10^{\circ} \text{C}$
$\gamma = 9.79 \text{ KN/m}^2$
$\delta = 1000 \text{ Kg/m}^3$
$\mu = 1.3 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$
$\nu = 1.30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Tabla 3.2. Características del agua.³

Donde:

T: Temperatura.

γ : Peso específico.

δ : Densidad.

μ : Viscosidad.

ν : Viscosidad cinemática.

3.3. Cálculo de pérdidas en el sistema

Una vez definido la potencia de la bomba, fluido y accesorios, se procede con la configuración del sistema y se realizara el cálculo de pérdidas, para verificar que la potencia de la bomba seleccionada en el punto 3.2.1. Sea la correcta. Iniciaremos realizando un balance de energía del sistema en conjunto con el dimensionamiento detallado en cada una de las figuras según la trayectoria. En la cual pueden existir cuatro sistemas.

³ <http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/junio2.htm>

3.3.1 Cálculo de pérdidas que existentes en trayectoria 1

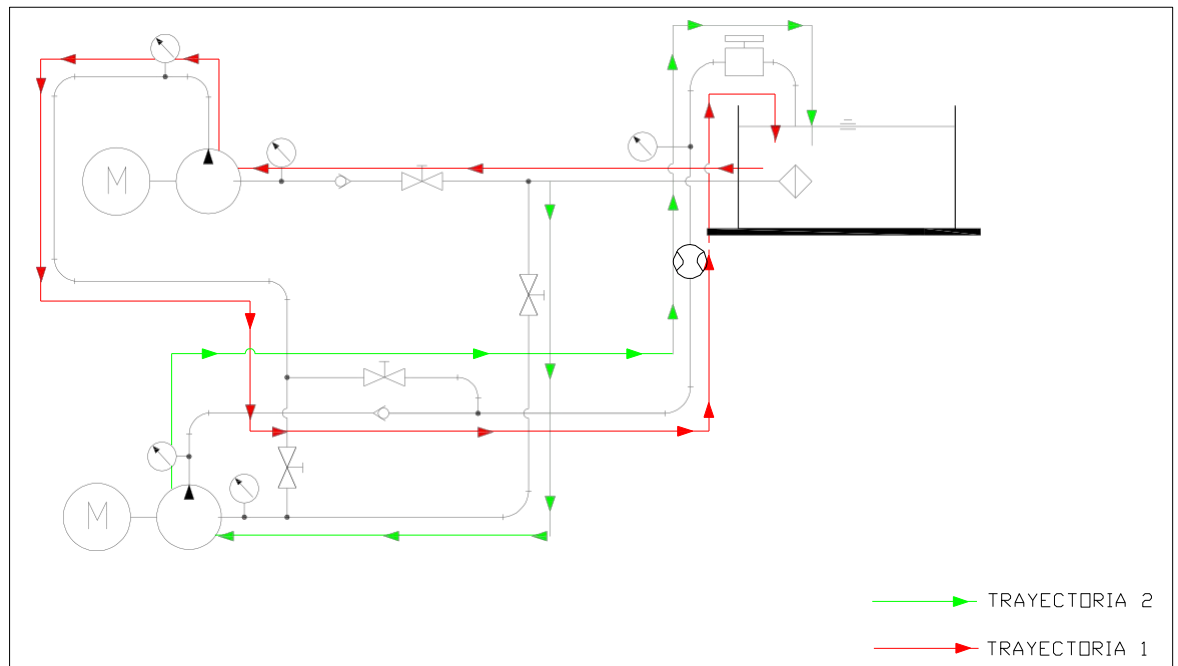


Fig. 3.6. Trayectoria 1

Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1 = 0$ y $P_2 = 0$ (Presión manométrica 0 PSI, tanque abierto).

$V_1 = 0$ y $V_2 = 0$ (Velocidad aproximadamente 0).

$Z_1 = 0$ Punto Inicial de la succión.

$Z_2 = 0$ Punto final de la descarga.

h_A : Altura total entregada por la bomba en metros de columna de agua (mca).

h_L : Pérdidas en el sistema.

$$Z_1 + h_A - h_L = Z_2$$

$$h_A = h_L$$

El caudal que va a circular por el sistema se asumirá en un 70% de su capacidad total que es 40 litros sobre minuto, tomado de la figura 3.7 de la bomba preseleccionada modelo PKM-60

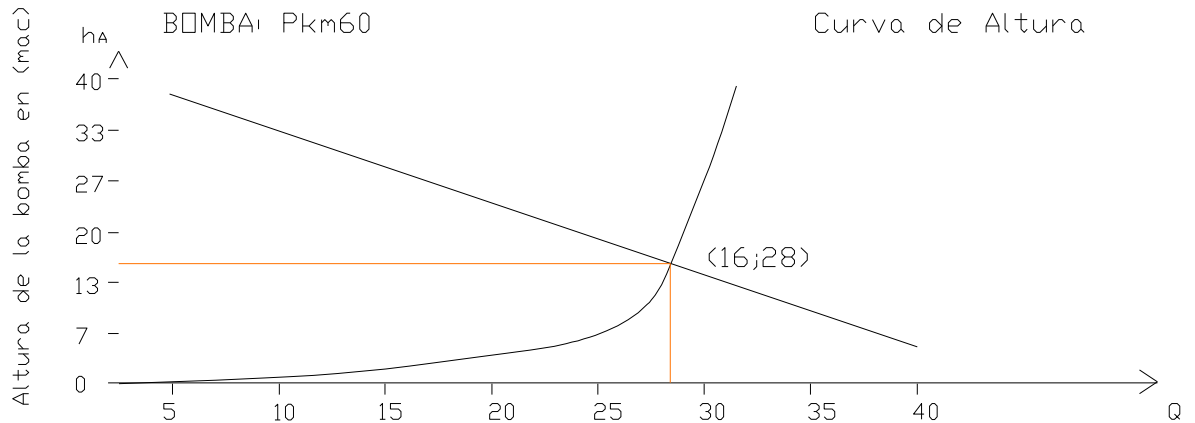


Fig.3.7. Curva de la bomba (dada por el fabricante ANEXO B).

El caudal con el que se realizará los cálculos será $28 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$ a una cabeza de bomba de 16 metros de columna de agua (mca). Con esta introducción, se procede a calcular la velocidad de succión en la tubería de 1".

$$V_s = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q : Caudal del sistema ($\frac{\text{lt}}{\text{min}}$).

A : Área de la tubería de succión (plg^2).

$$V_s = \frac{28 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \times \frac{61.02374 \text{ plg}^3}{2 \text{ lt}}}{(0.906)^2 \text{ plg} \times \frac{\pi}{4}}$$

$$V_s = 2650.4 \frac{\text{plg}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ plg}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$V_s = 1.12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de retorno	4-13	1.5-4
Líneas de descarga	7-18	2-5.5

Tabla 3.3. Velocidades recomendables según el tamaño de tubería.⁴

La velocidad de succión coincide con los rangos recomendados de acuerdo a Tabla 3.3. Con el dato obtenido se desarrolla la carga de velocidad en la ecuación detallada a continuación:

$$\frac{V_s^2}{2g} = \text{carga de velocidad}$$

Donde:

V_s : Velocidad de succión.

g : Gravedad.

$$\frac{(1.12 \frac{m}{s})^2}{2(9.8 \frac{m}{s^2})} = 0.064 m$$

A continuación se procede a conseguir la velocidad en la descarga que será similar a la velocidad de succión ya que los diámetros de tubería son iguales.

$$V_d = V_s$$

Se determina el tipo de flujo que va a circular por la tubería mediante el Número de Reynolds⁵ y se compara con Tabla 3.4.:

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

$$N_R = \frac{1.12 \frac{m}{s} \times 0.906 plg \times \frac{0.0254m}{1plg}}{1.30 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$N_R = 19861.40$$

⁴ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag. 164

⁵ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag. 230

si $N_R < 2000$, el flujo es laminar
si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento

Tabla 3.4. Valores de Flujo laminar o turbulento⁶

Para el sistema elegido el Flujo es Turbulento ya que el número de Reynolds es mayor a 4000.

Obtenido este dato se procede a calcular la rugosidad relativa del PVC, cuya fórmula es:

$$\frac{D}{\epsilon} = \text{rugosidad relativa}$$

Donde:

D : Diámetro de la tubería.

ϵ : Factor de rugosidad para material PVC.

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.906 \text{ plg} \times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ plg}}}{5 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 4602.49$$

Obtenido este dato se continúa con el cálculo de rugosidad relativa del COBRE, cuya fórmula es:

$$\frac{D}{\epsilon} = \text{rugosidad relativa}$$

Donde:

D : Diámetro de la tubería.

ϵ : Factor de rugosidad para material BRONCE.⁷

⁶ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag. 296

⁷ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, Tabla 8.2 pag. 235

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.906 \text{ plg} \times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ plg}}}{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 15341.63$$

La ecuación para el cálculo del factor de fricción cuando se tiene flujo turbulento en el PVC, es la siguiente:

$$f_{sP} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{\frac{3.7D}{\epsilon} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación para Flujo Turbulento}^8$$

Donde:

f_{sP} : Factor de fricción para el PVC.

$\frac{D}{\epsilon}$: Rugosidad relativa.

N_R : Numero de Reynolds.

$$f_{sP} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \times 4602.49 + \frac{5.74}{19861.40^{0.9}}} \right) \right]^2}$$

$$f_{sP} = 0.0264$$

La ecuación para el cálculo del factor de fricción cuando se tiene flujo turbulento en el COBRE, es la siguiente:

$$f_{sB} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{\frac{3.7D}{\epsilon} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación para Flujo Turbulento}^9$$

Donde:

f_{sB} : Factor de fricción para el bronce.

$\frac{D}{\epsilon}$: Rugosidad relativa.

N_R : Numero de Reynolds.

⁸ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006. Pag. 242.

⁹ MOTT,Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006. Pag. 242.

$$f_s = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \times 15341.63} + \frac{5.74}{19861.40^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_s = 0.0260$$

A continuación se procede a calcular pérdidas que ocasiona cada accesorio instalado en el sistema, para luego hacer una sumatoria y obtener un resultado total.

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10}$$

Ec. de Pérdidas en el sistema

Donde:

h_L : Pérdidas totales de fricción del sistema.

h_1 : Pérdidas en la entrada del tanque.

h_2 : Pérdidas en la línea de tubería de succión.

h_3 : Pérdidas en válvulas en la succión y descarga.

h_4 : Pérdidas en codos.

h_5 : Pérdidas en las Tee.

h_6 : Pérdidas en uniones.

h_7 : Pérdidas por compresión de tuberías.

h_8 : Pérdidas en rotámetro.

h_9 : Pérdidas en la línea de tubería de descarga.

h_{10} : Pérdidas a la salida de tubería de descarga.

- ❖ Ecuación para calcular las pérdidas de energía en la entrada de la tubería de succión (h_1)

$$h_1 = k \frac{v_s^2}{2g}$$

Donde:

$k=1$ Valor de coeficiente de resistencia con proyección de tubería hacia adentro.

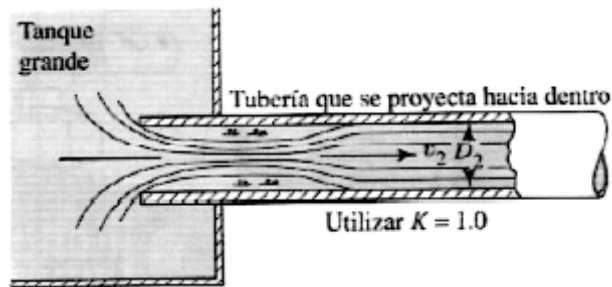


Fig. 3.8. Tubería que se proyecta hacia adentro.¹⁰

$$h_1 = 1(0.064m)$$

$$h_1 = 0.0642 \text{ m}$$

- ❖ Ecuación para calcular las pérdidas en la línea de tubería de succión por fricción (h_2).

$$h_2 = f_{sP} \frac{L}{D} \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde:

f_{sP} : Factor de fricción a la succión del PVC.

L : Longitud de tubería en la succión.

D : Diámetro de la tubería de succión.

$$h_2 = 0.0264 \left(\frac{1.022m}{0.024m} \right) (0.064m)$$

$$h_2 = 0.075 \text{ m}$$

- ❖ Ecuaciones para calcular las pérdidas en válvulas (h_3).

a)

$$h_3 = \left(f_{sB} \frac{L_g}{D} \frac{V_s^2}{2g} \right) \# \text{valvulas}$$

¹⁰ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag. 293

$$h_3 = \left(f_{sp} \frac{L_e}{D} \frac{V_s^2}{2g} \right) \# \text{ valvulas}$$

b)

$$h_3 = \left(k \frac{V_s^2}{2g} \right) \# \text{ valvulas}$$

Donde:

$\frac{L_e}{D} = 420$ (Longitud equivalente de válvula de pie con alcachofa).

$h_{3s'}$: Pérdidas en válvula de pie con alcachofa a la succión.

$$h_{3s'} = (0.026021 (420)(0.064m)) \times 1 \text{ Válvula}$$

$$h_{3s'} = 0.702 \text{ m}$$

$k = 0.05$ (Longitud equivalente de válvula de bola de media vuelta).

$h_{3s''}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la succión.

$$h_{3s''} = 0.05(0.064m) \times 1 \text{ válvula}$$

$$h_{3s''} = 0.00321 \text{ m}$$

$\frac{L_e}{D} = 100$ (Longitud equivalente de válvula de verificación tipo giratoria).

$h_{3s'''}$: Pérdidas en válvula de verificación tipo giratoria en la succión.

$$h_{3s'''} = (0.026021 (100)(0.064m)) \times 1 \text{ válvula}$$

$$h_{3s'''} = 0.167 \text{ m}$$

$k = 0.05$ (Coeficiente de fricción válvula de bola de media vuelta).

$h_{3d'}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la descarga.

$$h_{3d'} = 0.05(0.064m) \times 1 \text{ válvula}$$

$$h_{3d'} = 0.00321 \text{ m}$$

$\frac{L_e}{D} = 340$ (Longitud equivalente de válvula de compuerta).

h_{3d} : Pérdidas en válvula de compuerta en la descarga.

$$h_{3d} = (0.026021 (340) (0.064m)) \times 1 \text{ válvula}$$

$$h_{3d} = 0.568 \text{ m}$$

❖ Ecuación para calcular las pérdidas en codos (h_4).

$k = 1.5$ (Coeficiente de fricción en codos).

h_{4d} : Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4d} = 1.5(0.064m) \times 8 \text{ codos}$$

$$h_{4d} = 0.770 \text{ m}$$

❖ Ecuación para calcular las pérdidas en tee (h_5)

$k = 0.9$ (Coeficiente de fricción en tee, paso directo)

h_{5s} : Pérdidas en tee a la succión

$$h_{5s} = 0.9(0.064m) \times 2 \text{ tee}$$

$$h_{5s} = 0.116 \text{ m}$$

$k = 0.9$ (Coeficiente de fricción en tee, paso directo).

h_{5d} : Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d} = 0.9(0.064m) \times 2 \text{ tee}$$

$$h_{5d} = 0.116 \text{ m}$$

$k = 2$ (Coeficiente de fricción en tee, paso de lado).

h_{5d} : Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d} = 2(0.064m) \times 2 \text{ tee}$$

$$h_{5d} = 0.257 \text{ m}$$

❖ Ecuación para calcular las pérdidas en uniones (h_6).

$k = 0.08$ (Coeficiente de fricción en uniones).

h_{6s} : Pérdidas en uniones a la succión.

$$h_{6s} = 0.08(0.064m) \times 2 \text{ uniones}$$

$$h_{6s} = 0.0103 \text{ m}$$

$k = 0.08$ (Coeficiente de fricción en uniones).

h_{6d} = Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6d} = 0.08(0.064m) \times 5 \text{ uniones}$$

$$h_{6d} = 0.0257 \text{ m}$$

- ❖ Ecuación Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro (h_7).

$$h_7 = k \frac{v_s^2}{2g}$$

- Ecuación para cálculo de coeficiente k de pérdida para compresión brusca.

$$k = \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}\right)$$

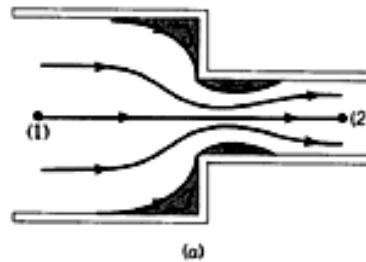


Fig. 3.9. Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro,
a) Compresión¹¹

Donde:

k : Coeficiente de pérdida por compresión.

D_1 : Diámetro mayor (m).

D_2 : Diámetro menor (m).

¹¹ MUSON. B.R. ET. AL. 1954

Datos:

D_1 : 0.04 (m)

D_2 : 0.023 (m)

$$k = \left(1 - \frac{(0.023 \text{ m})^2}{(0.04 \text{ m})^2}\right)$$

$$k = 0.669$$

$$h_7 = 0.669(0.064 \text{ m})$$

$$h_7 = 0.043 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en rotámetro (h_8).

En el rotámetro no se encuentran referencias de coeficiente k y longitud equivalente, por tal motivo se procede a realizar cálculos de Pérdidas donde se toma en consideración estructura física y movimiento del mecanismo interior. De este modo se tiene una aproximación de caída en metros de columna de agua.

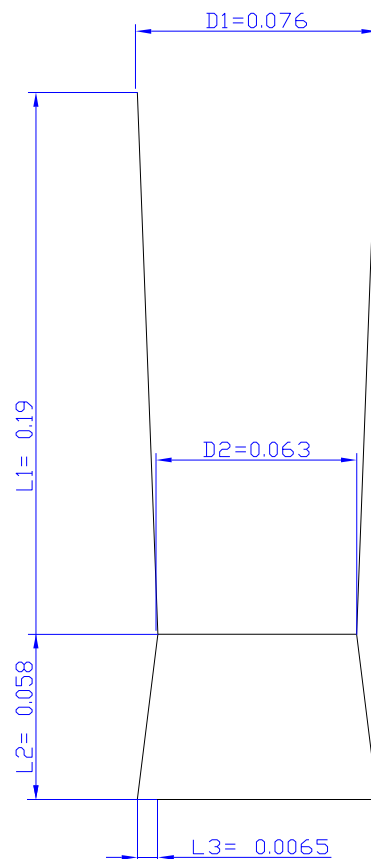


Fig. 3.10. Dimensiones físicas del rotámetro modelo LSZ-50.
(Según ANEXO H).

- Ecuación para Pérdidas por expansión en cambios bruscos de diámetro.

$$h_{g'} = k \frac{v_s^2}{2g}$$

- Ecuación para cálculo de coeficiente k de pérdida por expansión brusca.

$$k = \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}\right)$$

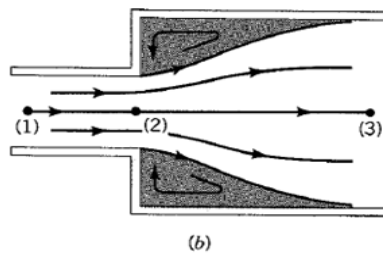


Fig. 3.11. Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro,
b) Expansión.¹²

Donde:

k : Coeficiente de pérdida por expansión.

D_1 : Diámetro menor (m).

D_2 : Diámetro mayor (m).

Datos:

$$D_2 = 0.05 \text{ (m)}$$

$$D_1 = 0.023 \text{ (m)}$$

$$k = \left(1 - \frac{(0.05 \text{ m})^2}{(0.023 \text{ m})^2}\right)$$

$$k = 0.778$$

Entonces:

$$h_{g'} = 0.778(0.064 \text{ m})$$

$$h_{g'} = 0.0506 \text{ m}$$

¹² MUSON. B.R. ET. AL. 1954

- Ecuación para Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro.

$$h_{g''} = k \frac{v_s^2}{2g}$$

- Ecuación para cálculo de coeficiente k de pérdida para compresión brusca. Según Fig.3.9.

$$k = 0.42 \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)$$

Donde:

k : Coeficiente de pérdida para compresión.

D_1 : Diámetro mayor (m).

D_2 : Diámetro menor (m).

Datos:

$D_1 = 0.04$ (m)

$D_2 = 0.023$ (m)

$$k = 0.42 \left(1 - \frac{(0.023 \text{ m})^2}{(0.04 \text{ m})^2} \right)$$

$$k = 0.331$$

Entonces:

$$h_{g''} = 0.331 (0.064 \text{ m})$$

$$h_{g''} = 0.0213 \text{ m}$$

- Pérdidas en rotámetro por contracción y expansión suave. Por su estructura físico cilíndrica a manera de tubería, se toma en consideración dos tramos; inferior y superior en los que se generaría Pérdidas por compresión y expansión.
- Ecuación para Pérdidas por expansión en cambios suaves de diámetro.

$$h_{g'''} = k \frac{v_s^2}{2g}$$

- Ecuación para cálculo de coeficiente k de pérdida por expansión suave de tramo inferior según Fig.3.12.

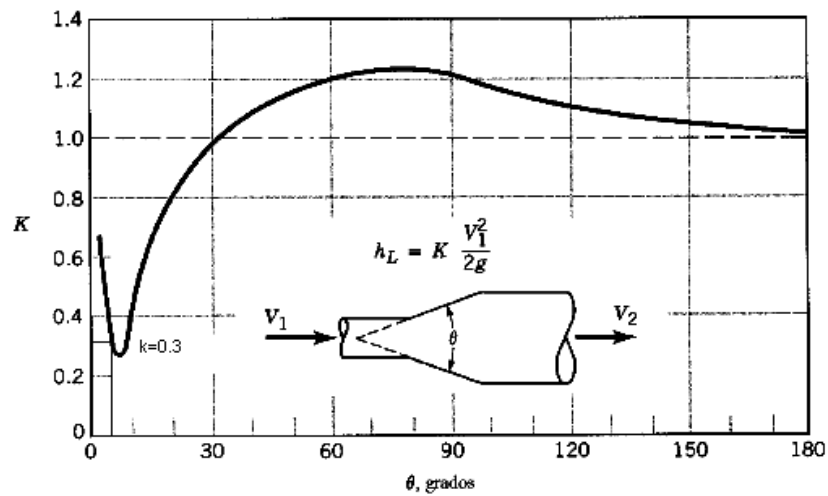


Fig. 3.12. Coeficiente de pérdida k para expansión suave.¹³

Donde:

L_2 : Longitud mayor (m).

L_3 : Longitud menor (m).

Datos:

L_2 : 0.058 (m)

L_3 : 0.0065 (m)

Entonces:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.0065}{0.058}$$

$$\theta = 6.39^\circ$$

$$k = 0.3$$

$$h_{g\cdots} = 0.3 (0.064 \text{ m})$$

$$h_{g\cdots} = 0.019 \text{ m}$$

¹³ MUSON. B.R.ET.AL. 1954

- Ecuación para Pérdidas por compresión en cambios suaves de diámetro.

$$h_{g...} = k \frac{v_s^2}{2g}$$

- Ecuación para cálculo de coeficiente k de pérdida por compresión suave de tramo superior según Fig.3.12.

Donde:

L_1 : Longitud mayor (m).

L_2 : Longitud menor (m).

Datos:

Dimensiones según Fig.3.10.

L_1 : 0.19 (m)

L_2 : 0.0065 (m)

Entonces:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.0065}{0.19}$$

$$\theta = 2$$

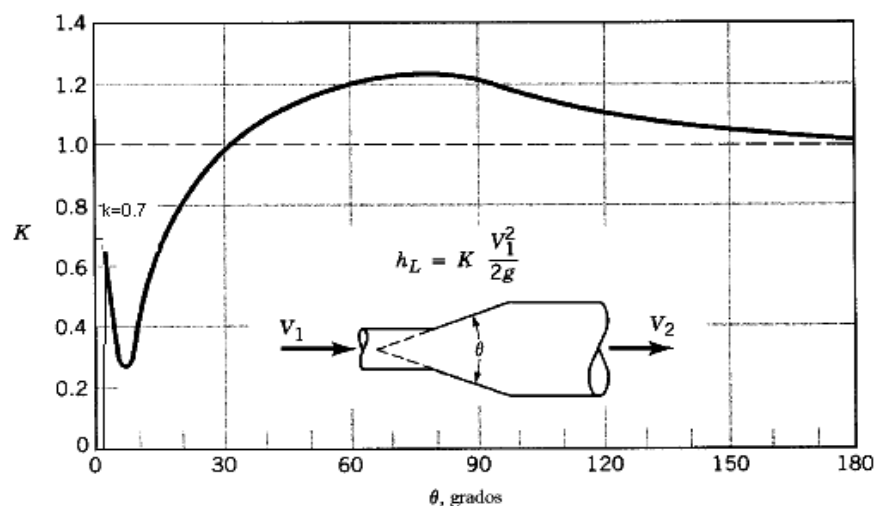


Fig. 3.13. Coeficiente de pérdida k para compresión suave.¹⁴

$$k = 0.7$$

¹⁴ MUSON. B.R.ET.AL. 1954

$$h_{g'''} = 0.7(0.064\text{ m})$$

$$h_{g'''} = 0.045\text{ m}$$

- Pérdidas por consideración de mecanismo interior similar a válvula de alcachofa en rotámetro.

$$h_{g'''} = \left(f_{sp} \frac{L_e}{D} \frac{V_s^2}{2g} \right) \# \text{ válvulas}$$

Donde:

$$\frac{L_e}{D} = 420 \text{ (Longitud equivalente de válvula de pie con alcachofa).}$$

$h_{g''}$: Pérdidas en válvula de pie con alcachofa a la succión.

$$h_{g''} = (0.026021(420)(0.064\text{ m})) \times 1 \text{ Válvula}$$

$$h_{g''} = 0.702\text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la tubería de descarga (h_9).

$$h_9 = f_{sp} \times \frac{L}{D} \times \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde:

f_{sp} : Factor de fricción a la descarga del PVC.

L : Longitud de tubería en la descarga.

D : Diámetro de la tubería de descarga.

$$h_9 = 0.0264 \left(\frac{3.834\text{ m}}{0.024\text{ m}} \right) (0.064\text{ m})$$

$$h_9 = 0.282\text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la salida de la tubería en la descarga (h_{10}).

$$h_{10} = k \frac{v_s^2}{2g}$$

Donde:

$k=1$ Valor de coeficiente de resistencia con proyección de tubería hacia afuera.

$$h_{10} = 1(0.064m)$$

$$h_{10} = 0.0642 m$$

Sumatoria total de las pérdidas del sistema.

$$h_L \quad h_L = h_s + h_d$$

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

$$h_A = 4.116 m$$

Calculo del NPSH

Procedemos a realizar el cálculo del NPSH_A (carga de succión neta positiva disponible).

$$NPSH_A = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

P_{sp} = Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

h_{sp} = Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento

se expresa en metros o pies de líquido $h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$

h_s = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba, se expresa en metros o pies.

h_f = Pérdida de carga en la tubería de succión, se expresa en metros o pies.

P_{vp} = Presión de vapor (absoluta) del líquido a temperatura que se bombea.

h_{vp} = Carga de vapor de presión de líquido a temperatura de bombeo y se expresa en metros o pies de líquido $h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$

Entonces:

$$P_{sp} = 549 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ PSI}}{52.45 \text{ mmHg}} \times \frac{1 \text{ KPa}}{0.1452 \text{ PSI}}$$

$$P_{sp} = 72.08 \text{ KPa} = 72.08 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{72.08 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}{9.79 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}}$$

$$h_{sp} = 7.36 \text{ mca}$$

$$h_s = Z_2 - Z_1$$

$$h_s = (0 - 0) \text{ mca}$$

$$h_s = 0$$

$$h_f = 1.746 \text{ mca}$$

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$$

$$h_{vp} = \frac{2.338 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}{9.79 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}}$$

$$h_{vp} = 0.23 \text{ mca}$$

$$\text{NPSH}_A = (7.36 + 0 - 1.746 - 0.238) \text{ mca.}$$

$$\text{NPSH}_A = (6.287) \text{ mca}$$

Gráfica de la curva del sistema

La curva del sistema representa una grafica que muestra la altura en función del caudal a una velocidad de giro constante. Estos datos fueron obtenidos aplicando el mismo procedimiento realizado experimentalmente con un caudal de 28 (lt/min), variando el caudal lo que permite obtener la curva del sistema.

Datos calculados a diferente caudal	
Q (lt/min)	ha (mca)
5	0,480
10	0,924
15	1,605
20	2,511
25	3,637
28	4,415
30	4,977
35	6,528
40	8,287

Tabla 3.7 Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 1).

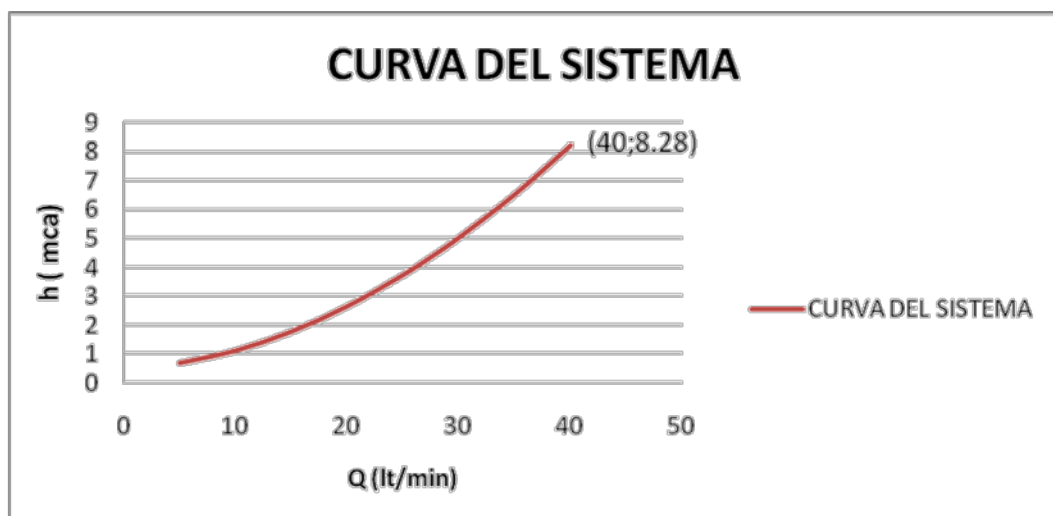


Fig. 3.14 Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 1).

Curva de la bomba

La curva de la bomba es una grafica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma.

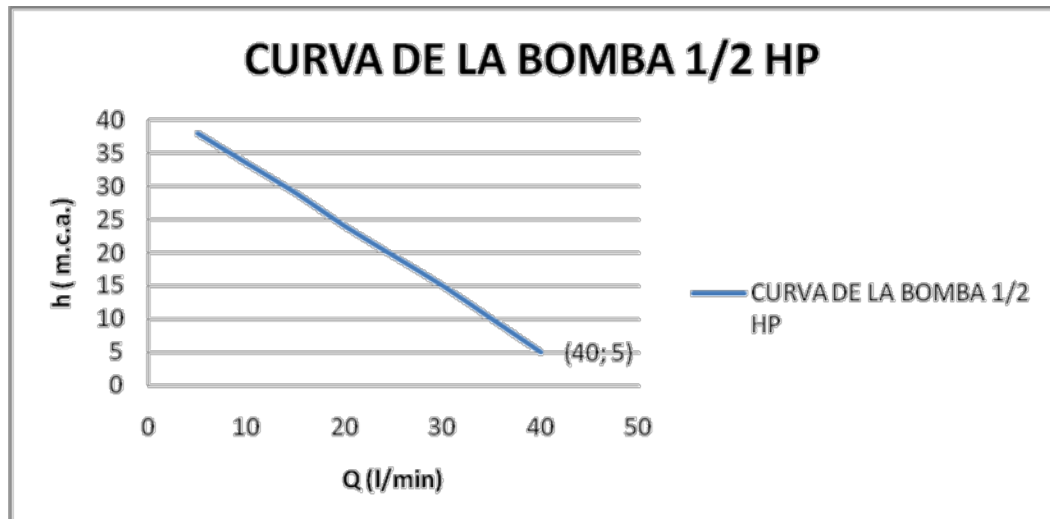


Fig. 3.15. Curva de la bomba desarrollada por el fabricante (ANEXO B).

Punto de operación

Con la curva del sistema y la curva de la bomba, procedemos a entrelazar las graficas obteniendo el punto de operación teórico.

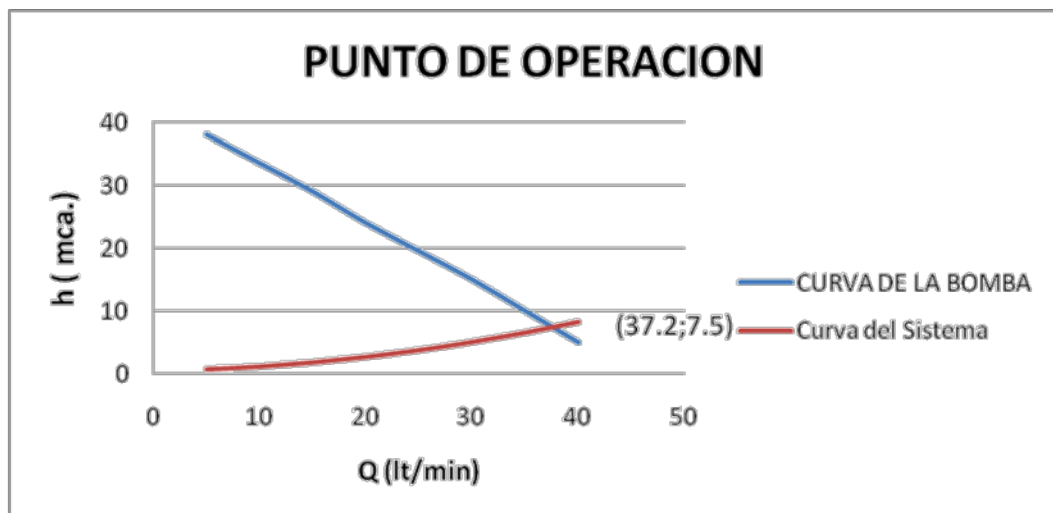


Fig. 3.16. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria 1).

El punto de operación es 37.21 lt/min y cabeza de 7.5 mca.

Obtenido el punto de operación mediante grafica se procede a calcular la potencia mínima requerida de la bomba mediante el caudal y la altura total entregada por el sistema en mencionado punto, de la siguiente manera:

$$Pot = \frac{h_A \gamma Q}{e_n}$$

Donde:

h_A = altura total entregada por el sistema (mca).

γ = Peso específico del fluido ($\frac{N}{m^3}$).

Q = Caudal ($\frac{lt}{min}$).

e_n = Eficiencia de la bomba

Asumiendo una eficiencia del 85%

$$Pot = \frac{7.5 \text{ m} \times 9790 \frac{N}{m^3} \times 0.00062 \frac{m^3}{s}}{0.85}$$

$$Pot = 0.0535 \text{ kw} \times \frac{1.341 \text{ HP}}{1 \text{ kw}} = 0.072 \text{ HP}$$

En el banco de pruebas existen cuatro sistemas, se realizará cálculos de pérdidas según patrón desarrollado, en el que se toma en consideración los siguientes puntos:

- Trayectoria de tubería que seguirá.
- Pérdidas en accesorios y válvulas en la trayectoria
- Longitud de tubería en succión y descarga de la trayectoria.

3.3.2 Calculo de Pérdidas en el Sistema dos (Trayectoria 2)

Como se obtuvo anteriormente existen cuatro sistemas, ahora se procede a realizar el sistema mediante la trayectoria 2.

Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$h_A = h_L$$

Velocidad de succión:

$$V_s = 1.12 \frac{m}{s}$$

Carga de velocidad:

$$\frac{V_s^2}{2g} = 0.064 \text{ m}$$

A continuación se procede a conseguir la velocidad en la descarga que será similar a la velocidad de succión ya que los diámetros de tubería son iguales.

$$V_d = V_s$$

Numero de Reynolds:

$$N_R = 19861.40$$

Para el sistema elegido el Flujo es Turbulento.

Obtenido este dato procede a calcular la rugosidad relativa del PVC:

$$\frac{D}{\epsilon} = 4602.49$$

Obtenido este dato se continúa con el cálculo de rugosidad relativa del COBRE:

$$\frac{D}{\epsilon} = 15341.63$$

Flujo turbulento en el PVC, es la siguiente:

$$f_{sP} = 0.0264$$

Flujo turbulento en el COBRE, es la siguiente:

$$f_s = 0.026$$

A continuación se procede a calcular pérdidas que ocasiona cada accesorio instalado en el sistema, para luego hacer una sumatoria y obtener un resultado total.

❖ Pérdidas de energía en la entrada de la tubería de succión (h_1)

$$h_1 = 0.0642 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la línea de tubería de succión por fricción (h_2).

$$h_2 = 0.124 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en válvulas (h_3).

$$h_{3s'} = 0.702 \text{ m}$$

$h_{3s''}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la succión.

$$h_{3s''} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3s'''}$: Pérdidas en válvula de verificación tipo giratoria en la succión.

$$h_{3s'''} = 0.167 \text{ m}$$

$h_{3d'}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la descarga.

$$h_{3d'} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3d''}$: Pérdidas en válvula de compuerta en la descarga.

$$h_{3d''} = 0.568 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en codos (h_4).

$$h_{4d'} = 0.096 \text{ m}$$

$h_{4d''}$: Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4d''} = 0.674 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en tee (h_5)

$h_{5s'}$: Pérdidas en tee a la succión

$$h_{5s'} = 0.116 \text{ m}$$

$h_{5d'}$: Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d'} = 0.116 \text{ m}$$

$h_{5d''}$: Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d''} = 0.128 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en uniones (h_6).

$h_{6s'}$: Pérdidas en uniones a la succión.

$$h_{6s'} = 0.0103 \text{ m}$$

$h_{6d'}$ = Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6d'} = 0.0257 \text{ m}$$

❖ Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro (h_7).

$$h_7 = 0.043 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en rotámetro (h_8).

- Pérdidas por expansión en cambios bruscos de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por expansión brusca.

$$k = 0.788$$

Entonces:

$$h_{8'} = 0.0506 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida para compresión brusca. Según Fig. 3.9.

$$k = 0.331$$

Entonces:

$$h_{8''} = 0.0213 \text{ m}$$

- Pérdidas en rotámetro por contracción y expansión suave.

Por su estructura físico cilíndrica a manera de tubería, se toma en consideración dos tramos; inferior y superior en los que se generaría Pérdidas por compresión y expansión.

- Pérdidas por expansión en cambios suaves de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por expansión suave de tramo inferior según Fig.3.10.

Entonces:

$$\theta = 6.39^\circ$$

$$k = 0.3$$

$$h_{g\cdots} = 0.019 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios suaves de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por compresión suave de tramo superior según Fig.3.12.

Entonces:

$$\theta = 2^\circ$$

$$k = 0.7$$

$$h_{g\cdots} = 0.045 \text{ m}$$

- Pérdidas por consideración de mecanismo interior similar a válvula de alcachofa en rotámetro.

$$h_{gv} = 0.702 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la tubería de descarga (h_9).

$$h_9 = 0.228 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la salida de la tubería en la descarga (h_{10}).

$$h_{10} = 0.0642 \text{ m}$$

Sumatoria total de las pérdidas del sistema:

$$h_L = h_s + h_d$$

$$h_L = 3.983 \text{ m}$$

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

$$h_A = 3.983 \text{ m}$$

Calculo del NPSH

Procedemos a realizar el cálculo del NPSH_A (carga de succión neta positiva disponible).

$$P_{sp} = 72.08 \frac{N}{m^2}$$

$$h_{sp} = 7.36 \text{ mca}$$

$$h_s = 0$$

$$h_f = 1.746 \text{ mca}$$

$$h_{vp} = 0.238 \text{ mca}$$

$$\text{NPSH}_A = (7.36 + 0 - 1.746 - 0.238) \text{ mca.}$$

$$\text{NPSH}_A = (6.341) \text{ mca}$$

Gráfica de la curva del sistema

La curva del sistema representa una grafica que muestra la altura en función del caudal a una velocidad de giro constante.

Datos calculados a diferente caudal	
Q (lt/min)	ha (mca)
5	0,677
10	1,107
15	1,766
20	2,643
25	3,731
28	4,482
30	5,024
35	6,520
40	8,216

Tabla 3.8 Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 2).

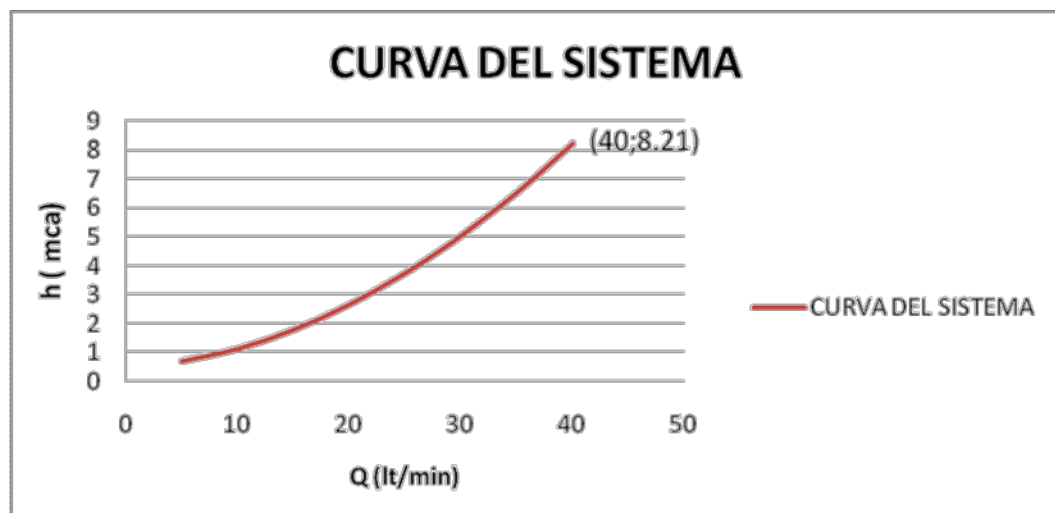


Fig. 3.17. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria 2).

Curva de la bomba

La curva de la bomba es una grafica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregada por la misma. Referirse a Fig. 3.7.

Punto de operación

Con la curva del sistema y la curva de la bomba, procedemos a entrelazar las graficas obteniendo el punto de operación teórico.

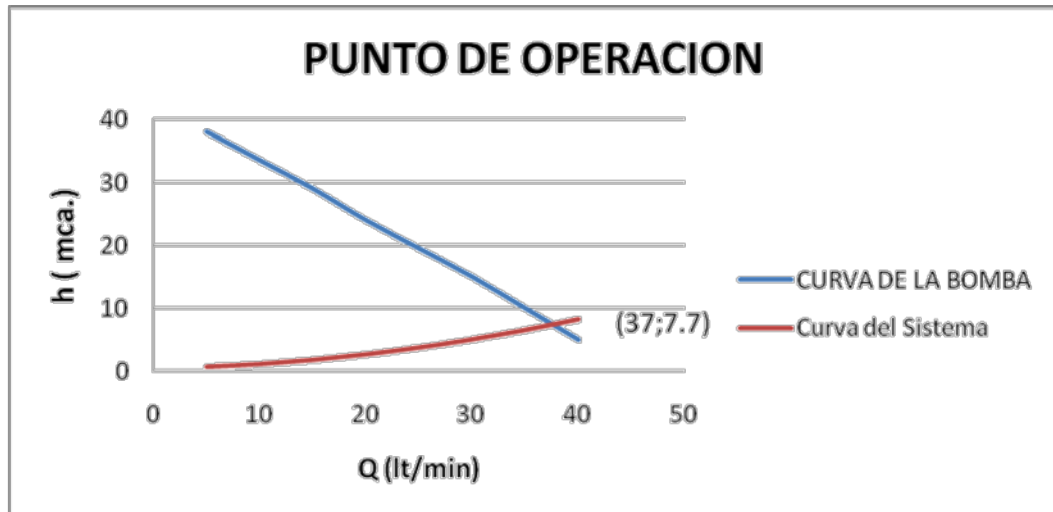


Fig. 3.18. Resultados teóricos del Punto de operación (trayectoria 2).

El punto de operación es 37.7 lt/min y cabeza de 7.7 mca.

Obtenido el punto de operación mediante grafica se procede a calcular la potencia mínima requerida de la bomba mediante el caudal y la altura total entregada por el sistema en mencionado punto, cuyos resultados son:

$$Pot = 0.0732 HP$$

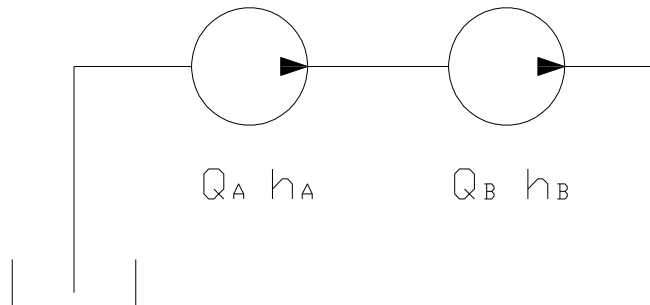
3.3.3 Calculo de Pérdidas en el Tercer Sistema (Trayectoria 3 conexión en Serie)

Dirigiendo la salida de una bomba a la entrada de otra bomba, permite la obtención de la misma capacidad a una cabeza total igual a la suma de los valores de las otras dos bombas. Este método permite la operación generando valores de cabeza altos, los cuales son poco frecuentes.

Al conectar dos o más bombas se logra un aumento proporcional de la presión total o final del sistema. De esta forma existe una tubería de succión insertada en la fuente de agua y la salida de la primera bomba se conecta a la entrada de la siguiente, y así sucesivamente. Así si se tienen dos bombas conectadas en serie, entonces, nuestro sistema actuaría de la siguiente manera:

Caudal: $Q_{TOTAL} = Q_A = Q_B$

Cabeza: $h_{TOTAL} = h_A + h_B$



$Q_{entrada} = Q_A$

$Q_{salida} = Q_A$

$h_{total} = h_A + h_B$

Para el tercer sistema se realizara el cálculo de pérdidas de energía y la potencia mínima que se necesita para que funcione el sistema.

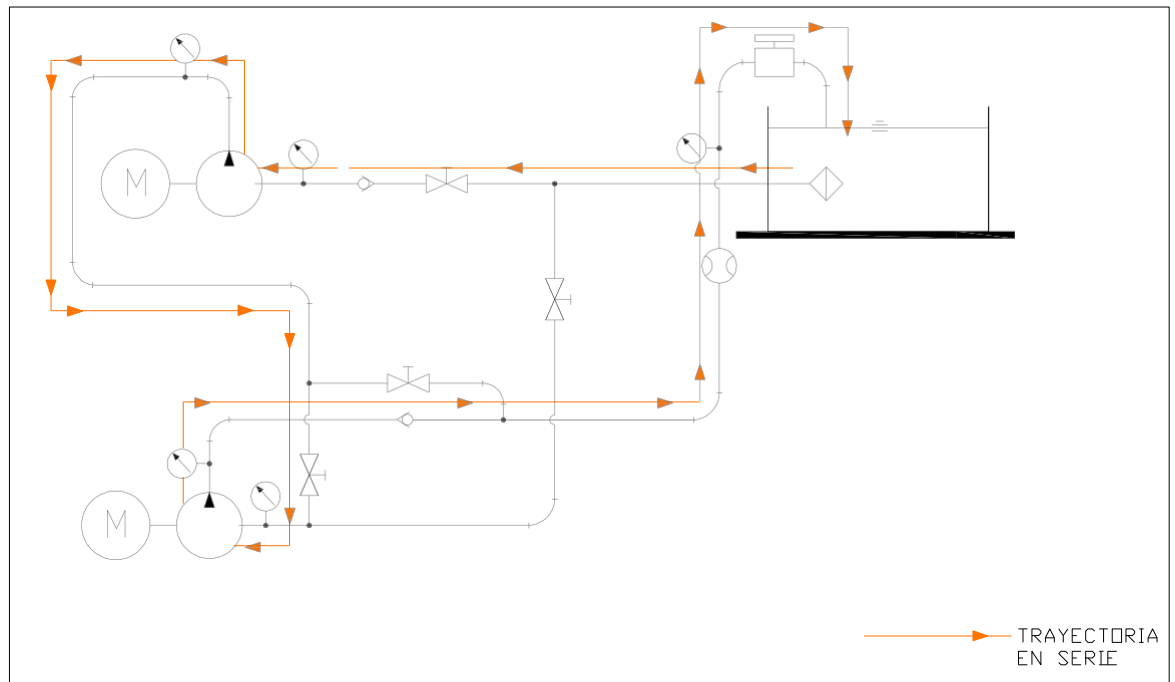


Fig. 3.19. Esquema cálculo Bombas conectadas en serie

Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$h_A = h_L$$

Velocidad de succión:

$$V_s = 1.12 \frac{m}{s}$$

Carga de velocidad:

$$\frac{V_s^2}{2g} = 0.064 \text{ m}$$

A continuación se procede a conseguir la velocidad en la descarga que será similar a la velocidad de succión ya que los diámetros de tubería son iguales.

$$V_d = V_s$$

Número de Reynolds:¹⁵

$$N_R = 19861.40$$

Para el sistema elegido el Flujo es Turbulento.

Rugosidad relativa del PVC:

$$\frac{D}{\epsilon} = 4602.49$$

Rugosidad relativa del COBRE:

$$\frac{D}{\epsilon} = 15341.63$$

Factor de fricción cuando se tiene flujo turbulento en el PVC:

$$f_{sP} = 0.0264$$

Factor de fricción cuando se tiene flujo turbulento en el BRONCE:

$$f_s = 0.0260$$

¹⁵ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag.230

A continuación se procede a calcular pérdidas que ocasiona cada accesorio instalado en el sistema, cuyos resultados son:

- ❖ Pérdidas de energía en la entrada de la tubería de succión (h_1)

$$h_1 = 0.0642 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la línea de tubería de succión por fricción (h_2).

$$h_2 = 0.075 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en válvulas (h_3).

$$h_{3s'} = 0.702 \text{ m}$$

$h_{3s''}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la succión.

$$h_{3s''} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3s'''}$: Pérdidas en válvula de verificación tipo giratoria en la succión.

$$h_{3s'''} = 0.167 \text{ m}$$

$h_{3d'}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la descarga.

$$h_{3d'} = 0.0064 \text{ m}$$

$h_{3d''}$: Pérdidas en válvula de compuerta en la descarga.

$$h_{3d''} = 0.568 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en codos (h_4).

$h_{4d'}$: Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4d'} = 1.06 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en tee (h_5)

$h_{5s'}$: Pérdidas en tee a la succión

$$h_{5s'} = 0.116 \text{ m}$$

$h_{5d'}$: Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d'} = 0.346 \text{ m}$$

$h_{5d''}$: Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5d''} = 0.128 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en uniones (h_6).

$h_{6s'}$: Pérdidas en uniones a la succión.

$$h_{6s'} = 0.0103 \text{ m}$$

$h_{6d'}$ = Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6d'} = 0.036 \text{ m}$$

❖ Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro (h_7).

- Coeficiente k de pérdida para compresión brusca.

$$k = 0.669$$

$$h_7 = 0.043 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en rotámetro (h_8).

- Pérdidas por expansión en cambios bruscos de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por expansión brusca.

$$k = 0.788$$

Entonces:

$$h_{8'} = 0.0506 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida para compresión brusca. Según Fig. 3.9.

$$k = 0.331$$

Entonces:

$$h_{g''} = 0.0213 \text{ m}$$

- Pérdidas por expansión en cambios suaves de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por expansión suave de tramo inferior según Fig.3.12.

$$\theta = 6.39^\circ$$

$$k = 0.3$$

$$h_{g'''} = 0.019 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios suaves de diámetro.
- Coeficiente k de pérdida por compresión suave de tramo superior según Fig.3.13

$$\theta = 2^\circ$$

$$k = 0.7$$

$$h_{g''''} = 0.045 \text{ m}$$

- Pérdidas por consideración de mecanismo interior similar a válvula de alcachofa en rotámetro.

$$h_{gv} = 0.702 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la tubería de descarga (h_9).

$$h_9 = 0.427 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la salida de la tubería en la descarga (h_{10}).

$$h_{10} = 0.0642 \text{ m}$$

Sumatoria total de las pérdidas del sistema.

$$h_L = 4.66 \text{ m}$$

$$h_A = 4.66 \text{ m}$$

Calculo del NPSH

Cuyos resultados son:

$$P_{sp} = 72.08 \frac{N}{m^2}$$

$$h_{sp} = 7.36 \text{ mca}$$

$$h_s = 0$$

$$h_f = 1.746 \text{ mca}$$

$$h_{vp} = 0.23 \text{ mca}$$

$$NPSH_A = (6.287) \text{ mca}$$

Grafica de la curva del sistema

La curva del sistema representa una grafica que muestra la altura en función del caudal a una velocidad de giro constante.

DATOS CALCULADOS A DIFERENTE CAUDAL	
Q (lt/min)	ha (mca)
5	0,500
10	1,000
15	1,769
20	2,798
25	4,078
28	4,965
30	5,606
35	7,376
40	9,907

Tabla 3.9. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en Serie).

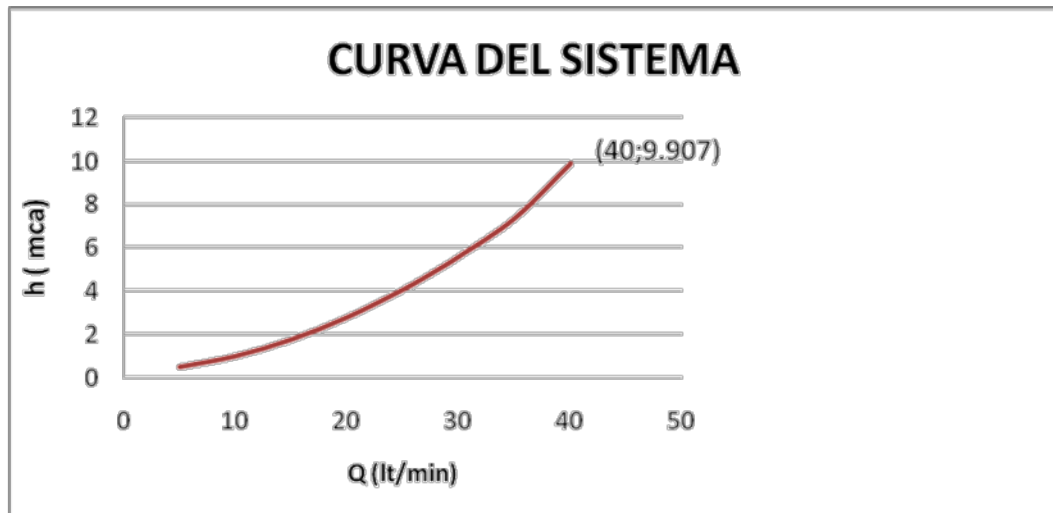


Fig. 3.20. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en serie).

Curva de la bomba en serie

La curva de la bomba es una grafica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregada por la misma.

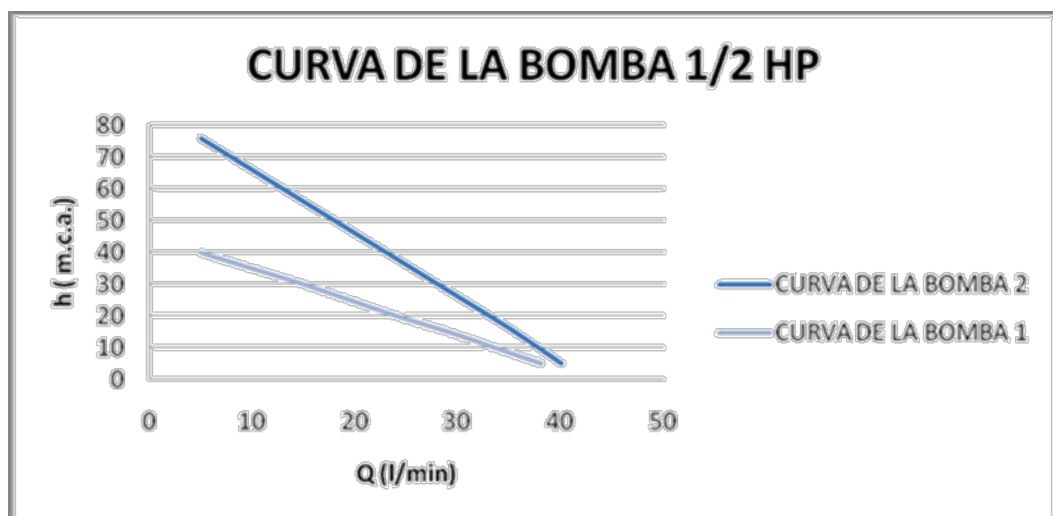


Fig. 3.21. Curva de la bomba desarrollada para trayectoria en serie.

Punto de operación

Con la curva del sistema y la curva de la bomba en serie, procedemos a entrelazar las graficas obteniendo el punto de operación teórico.

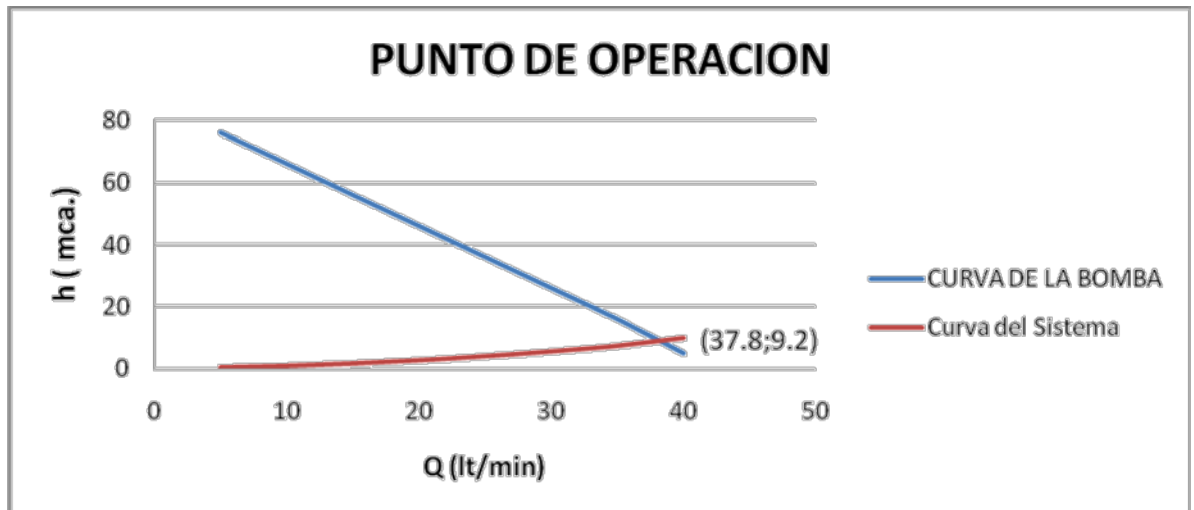


Fig. 3.22. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria en serie).

El punto de operación es 37.8 lt/min y cabeza de 9.2 mca.

Obtenido el punto de operación mediante grafica se procede a calcular la potencia mínima requerida de la bomba mediante el caudal y la altura total entregada por el sistema en mencionado punto, de la siguiente manera:

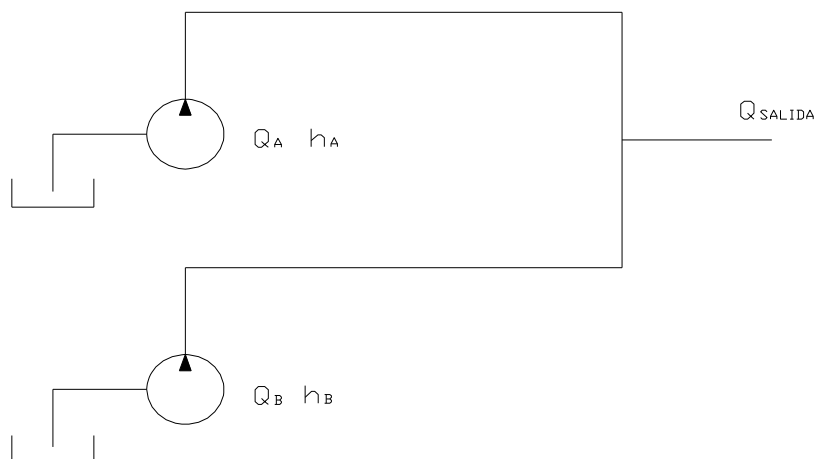
$$Pot = 0.09 \text{ HP}$$

3.3.4. Calculo de Pérdidas en el Cuarto Sistema (Trayectoria 4 conexión en Paralelo)

El propósito principal de las bombas que funcionan en paralelo es permitir una gama más amplia de flujo de lo que sería posible con una bomba fija.

$$\text{Caudal:} \quad Q_{\text{TOTAL}} = Q_A + Q_B$$

$$\text{Presión:} \quad h_{\text{TOTAL}} = h_A = h_B$$



Efectuamos el cálculo de Pérdidas y potencia de la bomba requerida para el sistema de conexión en paralelo

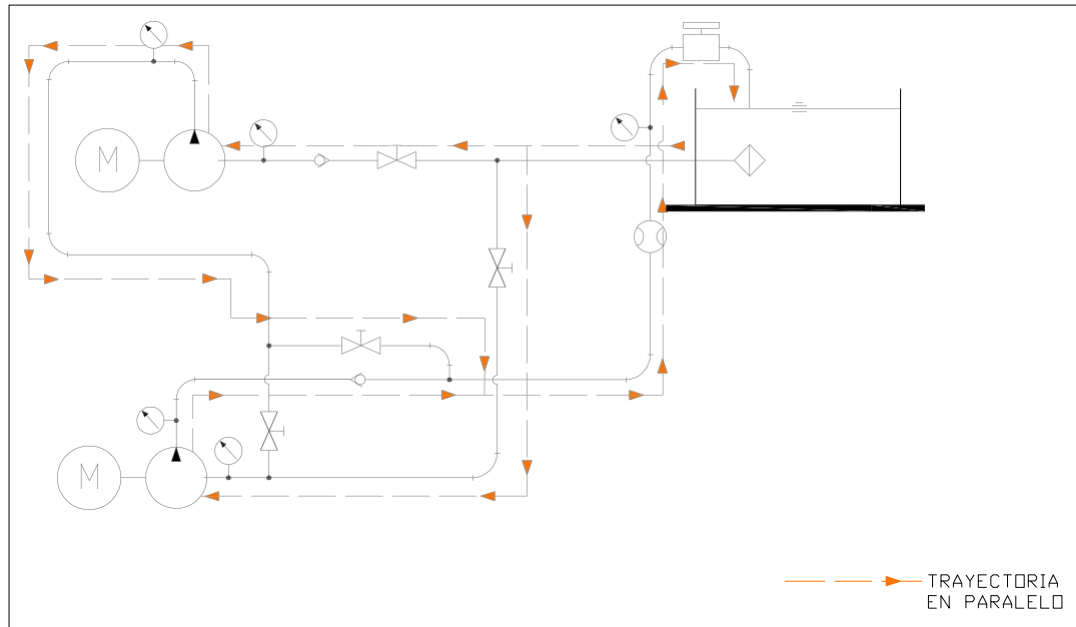


Fig. 3.23 Esquema calculo Bombas conectadas en Paralelo.

Para el cálculo de pérdidas del sistema en paralelo se considera los siguientes parámetros:

1. Se tiene pérdidas que van a estar en función del caudal que cada bomba succiona independientemente. Al realizar este cálculo de Pérdidas colocaremos el numero uno para identificar este tramo.
2. En la configuración de descarga existe un ramal de tubería donde las bombas unen sus caudales. Los cálculos de Pérdidas con el caudal al doble (teórico) se colocará el numero dos para identificar este tramo.

Estos cálculos se detallan a continuación.

Velocidad de descarga:

$$V_d = 2.24 \frac{m}{s}$$

Velocidad de Carga:

$$\frac{V_s^2}{2g} = 0.257$$

Número de Reynolds.¹⁶

$$N_R = 39722.79$$

Para el sistema elegido el Flujo es Turbulento ya que el número de Reynolds es mayor a 4000.

Flujo turbulento en el PVC a $56 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$, es la siguiente:

$$f_{sP} = 0.0226$$

Flujo turbulento en el COBRE a $56 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$, es la siguiente:

$$f_s = 0.0221$$

Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli.

$$h_A = h_L$$

Velocidad de Sección:

$$V_s = 1.12 \frac{m}{s}$$

Velocidad de descarga:

$$\frac{V_s^2}{2g} = 0.064 m$$

Rugosidad relativa del PVC:

$$\frac{D}{\epsilon} = 4602.49$$

¹⁶ MOTT, Robert. Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006, pag.230

Rugosidad relativa del COBRE:

$$\frac{D}{\epsilon} = 15341.63$$

Flujo turbulento en el PVC:

$$f_{sP} = 0.0264$$

Factor de fricción cuando se tiene flujo turbulento en el COBRE, es la siguiente:

$$f_s = 0.0260$$

❖ Pérdidas de energía en la entrada de la tubería de succión (h_1)

$$h_{1.1} = 0.0642 \text{ m}$$

$$h_{1.2} = 0.0642 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en la línea de tubería de succión por fricción (h_2).

$$h_{2.1} = 0.075 \text{ m}$$

$$h_{2.2} = 0.124 \text{ m}$$

❖ Pérdidas en válvulas (h_3)

$$h_{3s} = 0.702 \text{ m}$$

$h_{3.1s}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la succión.

$$h_{3.1s} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3.2s}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la succión.

$$h_{3.2s} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3.1d}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la descarga.

$$h_{3.1d} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3.2d''}$: Pérdidas en válvula de bola de media vuelta en la descarga.

$$h_{3.2d''} = 0.00321 \text{ m}$$

$h_{3.1s''}$: Pérdidas en válvula de verificación tipo giratoria en la succión.

$$h_{3.1s''} = 0.167 \text{ m}$$

$h_{3.2s''}$: Pérdidas en válvula de verificación tipo giratoria en la descarga.

$$h_{3.2s''} = 0.167 \text{ m}$$

- Pérdidas en ramal donde el caudal aumenta

$h_{3d''}$: Pérdidas en válvula de compuerta en la descarga.

$$h_{3d''} = 1.92 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en codos (h_4).

$h_{4.2s'}$: Pérdidas en codos a la succión.

$$h_{4.2s'} = 0.096 \text{ m}$$

$h_{4.1d'}$: Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4.1d'} = 0.192 \text{ m}$$

$h_{4.2d'}$: Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4.2d'} = 0.192 \text{ m}$$

- Pérdidas en ramal donde el caudal aumenta

$h_{4d'}$: Pérdidas en codos a la descarga.

$$h_{4d'} = 1.92 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en tee (h_5)

$h_{5.1s'}$: Pérdidas en tee a la succión

$$h_{5.1s'} = 0.116 \text{ m}$$

$h_{5.2s'}$: Pérdidas en tee a la succión

$$h_{5.2s'} = 0.1728 \text{ m}$$

$h_{5.1d'}$: Pérdidas en tee a la descarga

$$h_{5.1d'} = 0.00576 \text{ m}$$

$h_{5.2d'}$: Pérdidas en tee a la descarga

$$h_{5.2d'} = 0.00576 \text{ m}$$

$h_{5.1d''}$: Pérdidas en tee a la descarga.

$$h_{5.1d''} = 0.128 \text{ m}$$

- Pérdidas en ramal donde el caudal aumenta

$h_{5d'}$: Pérdidas en tee a la descarga

$$h_{5d'} = 0.2304 \text{ m}$$

$h_{5d''}$: Pérdidas en tee a la descarga

$$h_{5d''} = 0.768 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en uniones (h_6).

$h_{6.1s'}$: Pérdidas en uniones a la succión.

$$h_{6.1s'} = 0.0103 \text{ m}$$

$h_{6.2s'}$: Pérdidas en uniones a la succión.

$$h_{6.2s'} = 0.0103 \text{ m}$$

$h_{6.1d'}$: Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6.1d'} = 0.00512 \text{ m}$$

$h_{6.2d'}$: Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6.2d'} = 0.0103 \text{ m}$$

- Pérdidas en ramal donde el caudal aumenta

h_{6d} : Pérdidas en uniones a la descarga.

$$h_{6d} = 0.768 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro (h_7).

- Coeficiente k de pérdida para compresión brusca.

$$k = 0.669$$

$$h_{7.1} = 0.043 \text{ m}$$

$$h_{7.2} = 0.043 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en rotámetro (h_8).

- Pérdidas por expansión en cambios bruscos de diámetro.

- Coeficiente k de pérdida por expansión brusca.

$$k = 0.788$$

Entonces:

$$h_{8'} = 0.201 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios bruscos de diámetro.

- Coeficiente k de pérdida para compresión brusca. Según Fig. 3.9.

$$k = 0.331$$

Entonces:

$$h_{8''} = 0.085 \text{ m}$$

- Pérdidas por expansión en cambios suaves de diámetro.

- Coeficiente k de pérdida por expansión suave de tramo inferior según Fig.3.12.

$$\theta = 6.39^\circ$$

$$k = 0.3$$

$$h_{8'''} = 0.0768 \text{ m}$$

- Pérdidas por compresión en cambios suaves de diámetro.

- Coeficiente k de pérdida por compresión suave de tramo superior según Fig.3.13.

$$\theta = 2^\circ$$

$$k = 0.7$$

$$h_{g^{***}} = 0.1792 \text{ m}$$

- Pérdidas por consideración de mecanismo interior similar a válvula de alcachofa en rotámetro.

$$h_{gv} = 2.37 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la tubería de descarga (h_9).

$$h_{9.1} = 0.079 \text{ m}$$

$$h_{9.2} = 0.046 \text{ m}$$

- Pérdidas en ramal donde el caudal aumenta

$$h_9 = 0.439 \text{ m}$$

- ❖ Pérdidas en la salida de la tubería en la descarga (h_{10}).

$$h_{10} = 0.256 \text{ m}$$

Sumatoria total de las pérdidas del sistema.

$$h_L = 11.78 \text{ m}$$

$$h_A = 11.08 \text{ m}$$

Calculo del NPSH

Cuyas respuestas son:

$$P_{sp} = 72.08 \frac{N}{m^2}$$

$$h_{sp} = 7.36 \text{ mca}$$

$$h_s = 0$$

$$h_f = 1.746 \text{ mca}$$

$$h_{vp} = 0.23 \text{ mca}$$

$$\text{NPSH}_A = (7.36 + 0 - 1.746 - 0.238) \text{ mca}$$

$$\text{NPSH}_A = (6.287) \text{ mca}$$

Grafica de la curva del sistema

La curva del sistema representa una grafica que muestra la altura en función del caudal a una velocidad de giro constante.

Datos calculados a diferente caudal	
Q(L/MIN)	Ha (m.c.a.)
10	1,030
20	2,133
30	4,093
40	6,171
50	9,068
56	11,082
60	12,537
70	16,571
80	21,162

Tabla 3.10. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en paralelo).

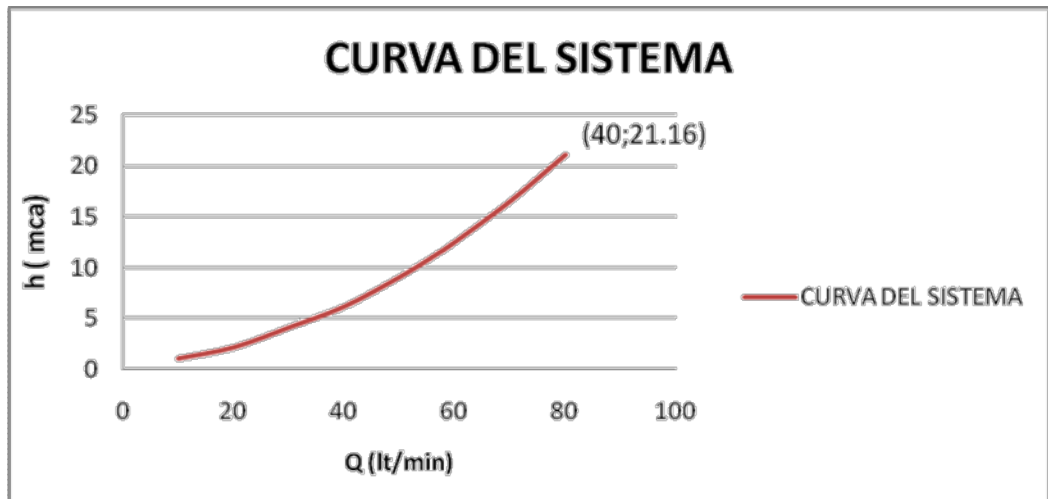


Fig. 3.24. Resultados teóricos de Caudal vs Columna de Agua (Trayectoria en paralelo).

Curva de la bomba en paralelo

La curva de la bomba es una grafica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregada por la misma.

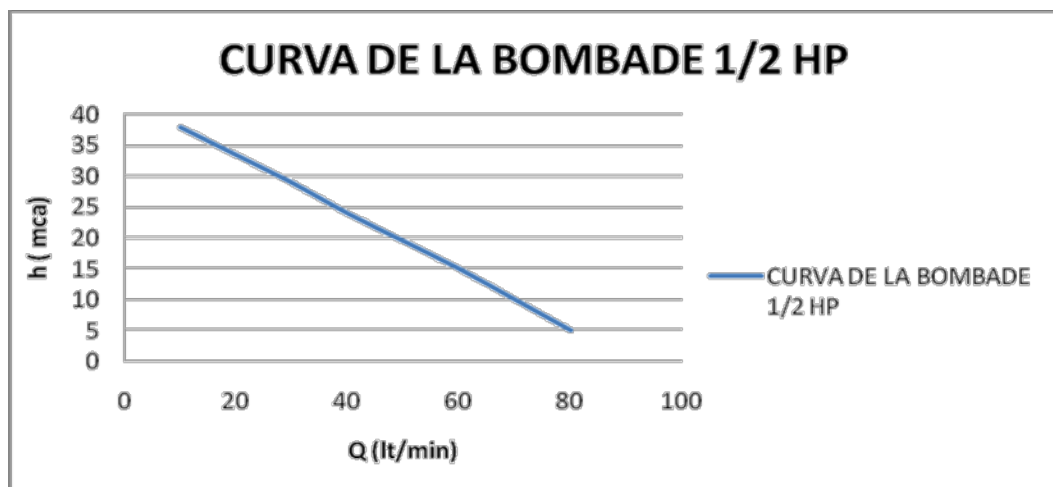


Fig. 3.25. Curva de la bomba desarrollada para trayectoria en paralelo.

Punto de operación

Con la curva del sistema y la curva de la bomba, procedemos a entrelazar las graficas obteniendo el punto de operación teórico.

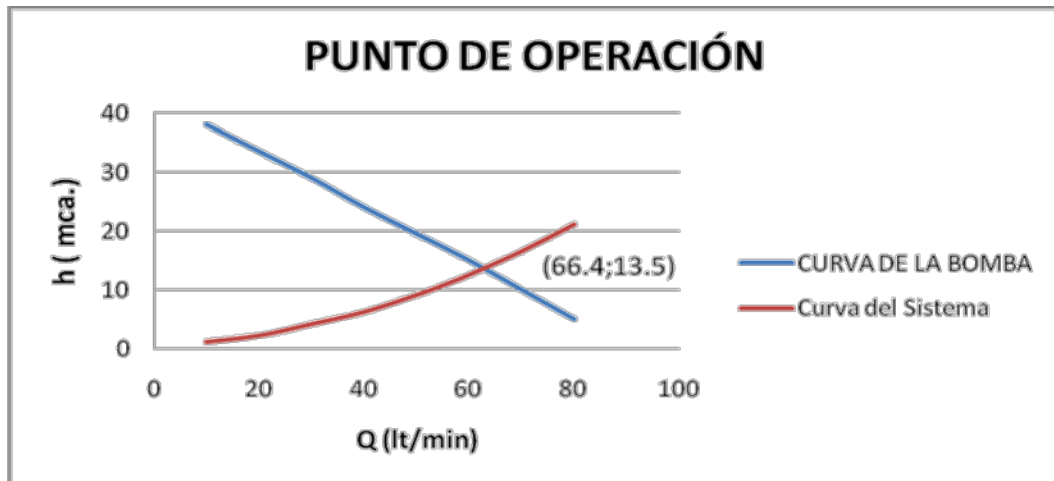


Fig. 3.26. Resultados teóricos del Punto de operación (Trayectoria en paralelo).

El punto de operación es 66.4 lt/min y cabeza de 13.5 mca.

Obtenido el punto de operación mediante grafica se procede a calcular la potencia mínima requerida de la bomba mediante el caudal y la altura total entregada por el sistema en mencionado punto, de la siguiente manera:

$$Pot = 0.23HP$$

3.4 Dimensionamiento del tanque

Hay varias consideraciones en el dimensionamiento del tanque de alimentación y descarga, donde se debe evitar en lo posible la cantidad de turbulencia y aire transportado, la línea de alimentación debe estar sumergida dentro del tanque. Para determinar el volumen del tanque, se tomara en consideración la siguiente fórmula:

$$V = Q_{max} * K * t$$

Donde:

V = Volumen del tanque (lt)

Q_{max} = Caudal máximo proporcionado por la bomba centrífuga ($\frac{lt}{min}$)

K = Factor para la inmersión adecuada en la tubería (adimensional)

t = Tiempo (min)

$$V = 40 \frac{lt}{min} \times 1.875 \times 1 min$$

$$V = 75 \text{ litros} = 0.0525 \text{ m}^3$$

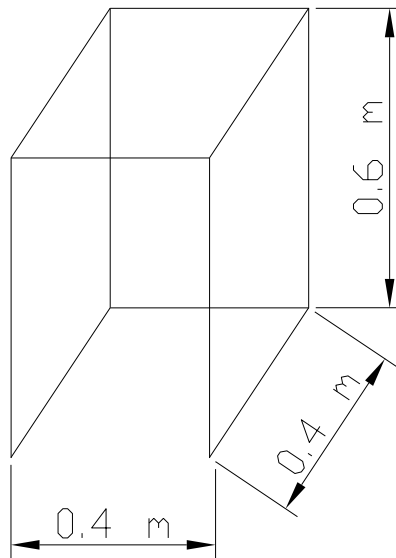


Fig. 3.27. Dimensiones del tanque.

El dimensionamiento del tanque cumple con el volumen requerido.

Presión en el tanque

$$P_{\text{fluido}} = \gamma * h$$

Donde:

γ : Peso específico.

h : Altura de elevación desde el nivel del fluido hasta la tubería de succión

$$P_{\text{fluido}} = 0.4 \text{ m} * 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 399 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 0.5677 \text{ psi}$$

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{fluido}}$$

Donde:

P_{atm} : Presión atmosférica.

P_{fluido} : Presión hidrostática

$$P_{\text{absoluta}} = 10.41 \text{ psi} + 0.56 \text{ psi}$$

$$P_{\text{absoluta}} = 10.97 \text{ psi}$$

3.5 Selección de instrumentos de medida y control

La selección de instrumentos y equipos, se realizara con base a los cálculos desarrollados en las distintas trayectorias.

3.5.1 Bomba centrífuga Pedrollo PKM – 60

Las características de la bomba seleccionada con anterioridad son las siguientes:

Bomba pkm-60	
Q = 5 – 40 lpm.	H 38 – 5 m
H Max. 40 m	H min 5 m
V 110	Hz 60 3450 min – 1
Kw 0.57 Hp 0.5	5.5 A 550 W máx.
C 25 uf	VL 250 V
Tº máxima 60 ° C	Succión 1"
	Descarga 1"

Tabla 3.11. Características de bomba.



Fig.3.28. Bomba Centrífuga Pedrollo ½ HP.

3.5.2 Tubería

La tubería que se va a utilizar en el sistema es de 1", esto tomando en cuenta que la bomba centrífuga seleccionada nos permite conexiones de tubería de 1" en la succión como en la descarga.

En Ecuador Amanco Plastigama es la empresa que ha desarrollado una avanzada tecnología en la fabricación de tuberías de PVC para sistemas de riego a gravedad y/o presurizados, sistemas de captación de aguas subterráneas y todo tipo de instalaciones para uso agropecuario.

La fabricación y control de calidad de la línea de tuberías y accesorios de PVC para presión se basan en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1373.

En cuanto la fabricación y control de calidad de la tubería de PVC de baja presión para uso agrícola se basan en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1369.

El material de la tubería es PVC (cloruro de Polivinilo) el cual se encuentra fácilmente en el mercado nacional se seleccionó este material por las siguientes características:

- Con certificado de conformidad con sello INEN.
- Amplia gama de diámetros y presiones.
- Calidad garantizada.
- Tubos de 6 metros.
- No se produce corrosión galvánica y/o electrolítica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección hidráulica.
- Por la inercia química del compuesto de PVC y sus aditivos resisten al ataque de aguas y suelos agresivos y aplicación de fertilizantes.
- No favorecen la adherencia de algas, hongos, moluscos, etc.
- Trabajan a grandes presiones y con períodos de vida útil prolongados.
- Su módulo de elasticidad le permite una alta resistencia a las sobrepresiones hidrostáticas por golpe de ariete y a los esfuerzos producidos por cargas externas del material de relleno, de tráfico y sísmicas.
- Su bajo coeficiente de fricción con respecto a otros materiales, asegura una mayor capacidad de conducción.
- Su bajo peso facilita el transporte, manipuleo e instalación.
- Resistencia a asentamientos diferenciales y permiten deflexiones.



Fig.3.29. Tubería PVC

3.5.3 Válvula reguladora de caudal (Tipo compuerta)

Este tipo de válvula está directamente ligado al control del caudal en el sistema y en sus ramales. La forma más precisa de regular el caudal de un sistema, es con el uso de una válvula reguladora de caudal. El proceso se efectúa mediante una pieza que tapa de forma parcial o completa el orificio de paso.

Por este sistema, se puede controlar el paso tanto de los líquidos y gases hasta de los más corrosivos. Según las necesidades que vienen determinadas por el tipo de sustancia y la cantidad de flujo.

Se selecciono una válvula reguladora tipo compuerta de caudal de 1", que se adapta a la sección de la tubería de PVC, esta válvula será instalada en la parte final de la tubería de descarga y nos va a permitir restringir el caudal para realizar prácticas, disminuyendo el porcentaje de caudal en la salida.



Fig. 3.30. Regulador de caudal

Las características técnicas de esta válvula son:

- Permite fácil y rápida instalación
- Cuerpo y pistón en material bronce
- Se utiliza para tubería de 1"
- Máxima seguridad por su material
- Presión de trabajo 145 Psi (1Mpa)
- Construida bajo la norma Técnica Ecuatoriana INEN 1373
- Se encuentra disponible en el mercado Nacional

3.5.4 Manómetros

El manómetro es un instrumento que se emplea para la medición de la presión en los fluidos y que generalmente procede determinando la diferencia que hay entre la presión del fluido y la presión local.

En el mundo de la mecánica, por ejemplo, la presión es considerada como una fuerza por unidad de superficie que es ejercida por un determinado líquido o por un determinado gas, de manera perpendicular y sobre dicha superficie. La medición de la presión suele realizarse en atmósferas, también mediante el Sistema Internacional de Unidades, al tiempo que es expresada en newton por metro cuadrado.

Los rangos de medida que deberá tener este instrumento, según los requerimientos del sistema serán de 0 -150 psi.

Hemos seleccionado para el banco de pruebas manómetros de glicerina con un rango de apreciación de 0-150 psi.



Fig.3.31. Manómetro 0 – 150 PSI con conexión vertical.

3.5.5 Válvulas distribuidoras (tipo válvula de bola de media vuelta)

Una válvula de distribución determina el paso de agua entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas.

Las válvulas se definen en términos de número de vías, número de posiciones, su posición normal (no activada) y el método de activación

De igual manera que para los demás accesorios, las válvulas deben ser de 1" para las realizar las conexiones en la tubería de 1".



Fig. 3.32. *Válvula de bola de media vuelta.*

Las características de esta válvula son:

- Unión roscadle tipo NPT 100% Hermética
- No se corroe y tiene larga vida útil
- Se utiliza para aplicaciones domesticas
- Presión de trabajo de 145 Psi

3.5.6 Medidor de flujo de área variable (tipo rotámetro)

Los medidores de caudal de área variable se deben instalar verticalmente. Su principio de funcionamiento se basa en un flotador que cambia de posición dentro de un tubo de área variable. El área del tubo es pequeña en la parte inferior y va aumentando hasta alcanzar la mayor sección en la parte superior llamados rotámetros.



Fig. 3.33. Medidor de Flujo de Área Variable

El rotámetro seleccionado nos debe permitir ser conectado en tuberías de 1" adicionalmente debe permitirnos medir flujo que vaya desde 0 – 68 lt/min que sería el máximo flujo de caudal a medir

Estimando los factores descritos se ha seleccionado un medidor de área variable que tiene las siguientes características:

- Rango de medición de $0.4 - 4 \frac{m^3}{h}$ ($6.66 - 70 \frac{lt}{min}$)
- Temperatura de Trabajo de $0 - 60^\circ C$
- Tolerancia: +/- 5 por ciento
- Conexiones de 1"

3.5.7 Tanque de Almacenamiento

El tanque se lo construirá en vidrio de acuerdo a las dimensiones calculadas en el punto 3.1.5.

Las características técnicas del material son las siguientes:

- Resistencia a la tracción de $400 - 500 N/mm^2$
- Densidad $1.6 g/cm^3$
- Material resistente a golpes

3.6 Selección del material eléctrico

3.6.1 Contactor

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de una instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada" En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden. Los contactores seleccionados son de nueve amperios.



Fig. 3.34. Contactor.

3.6.2 Pulsadores

Existen pulsadores para conexiones eléctricas del tipo que comprende un mando portador de los contactos móviles y que juega axialmente en una caja portadora de contactos fijos, solucionándose con el problema de deslizamiento del mando y de acoplamiento del pulsador a distinto grosor de pared.

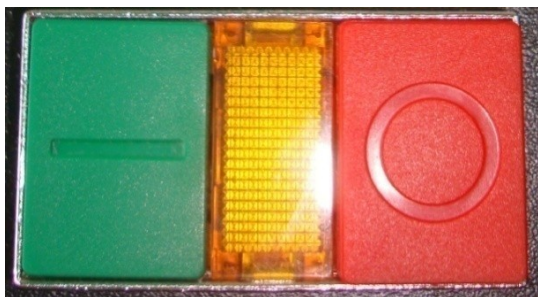


Fig. 3.35. Pulsador.

3.6.3 Amperímetro

Un amperímetro es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico. Un micro amperímetro está calibrado en millonésimas de amperio y un miliamperímetro en milésimas de amperio.

Si hablamos en términos básicos, el amperímetro es un galvanómetro (instrumento para detectar pequeñas cantidades de corriente) con una resistencia en serie, llamada shunt. Disponiendo de una gama de resistencias shunt, podemos disponer de un amperímetro con varios rangos o intervalos de medición. Los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña, por debajo de 1 ohmio, con la finalidad de que su presencia no disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito eléctrico.

El aparato descrito corresponde al diseño original, ya que en la actualidad los amperímetros utilizan un conversor analógico/digital para la medida de la caída de tensión en un resistor por el que circula la corriente a medir. La lectura del conversor es leída por un microprocesador que realiza los cálculos para presentar en un display numérico el valor de la corriente eléctrica circulante.



Fig. 3.36. Amperímetro.

3.6.4 Switch Selector

Hemos seleccionado un switch selector de dos posiciones para encender o apagar el sistema eléctrico del banco de pruebas.



Fig. 3.37. Switch Selector.

3.6.5 Breaker

Hemos seleccionado dos breaker de 10 amperios cada uno para proteger los motores de las bombas centrífugas.



Fig. 3.38. Breaker.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El capítulo comprende una comparación entre resultados teóricos obtenidos en el capítulo III y los datos prácticos obtenidos con el sistema funcionando con la válvula de compuerta al 100% abierta. Primero se explicara la manera de obtener los datos prácticos y luego se compararán con los datos teóricos obtenidos anteriormente. A continuación se procede a realizar el análisis de resultados en las diferentes configuraciones.

4.1 Resultados Prácticos Trayectoria 1

Se toma en consideración la trayectoria de tubería con una bomba centrífuga en operación. Como se muestra en la Fig.4.1.

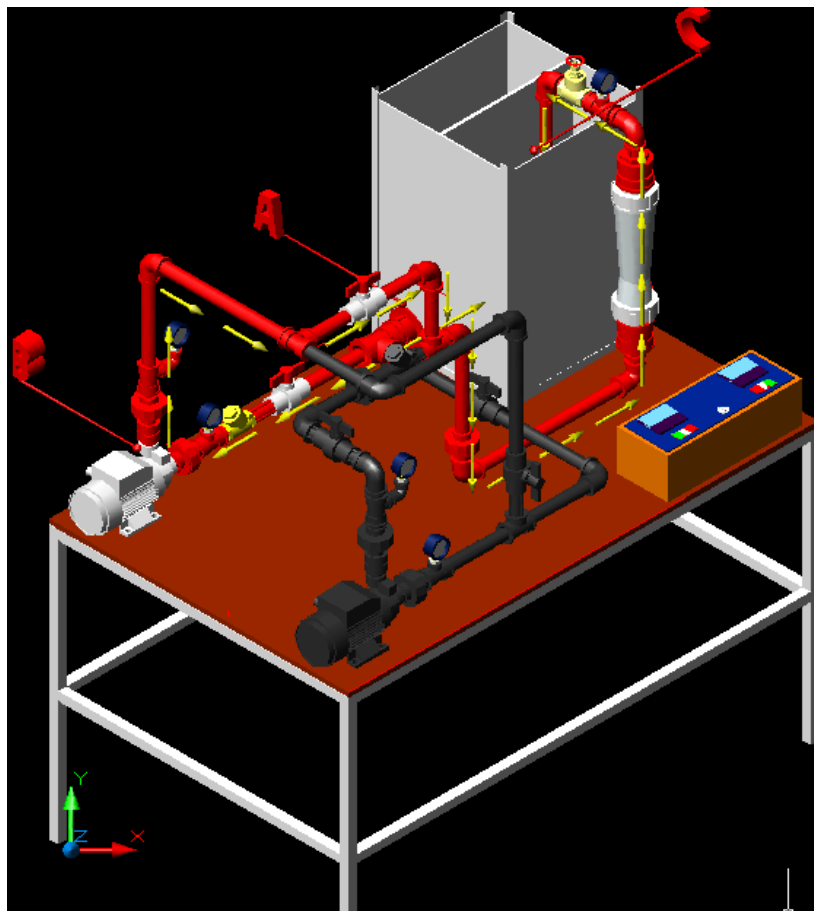


Fig.4.1. Trayectoria 1 en 3D

En el banco de pruebas hay etiquetas que identifican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos es el siguiente:

1. Cerrar las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V1, V2.
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1.
4. Encender la Bomba centrífuga que tiene la identificación B1, desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1.
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro.
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M5.
7. Anotar la medida de amperaje que indica el amperímetro con la identificación A1.
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, amperaje y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B1 con el pulsante de color rojo con identificación P1.

Los datos obtenidos al realizar 8 pruebas son los siguientes:

ITEM	Q (m3/h)	Q(lt/min)	P1 (psi)	P2 (psi)	P3 (psi)	h1 (mca)	h2 (mca)	h3 (mca)
1	2.21	36.8407	0	0	0	0	0	0
2	1.8	30.006	0	14	13	0	9.85915493	9.15492958
3	1.6	26.672	0	20	18	0	14.084507	12.6760563
4	1.4	23.338	0	24	22	0	16.9014085	15.4929577
5	1.2	20.004	0	28	26	0	19.7183099	18.3098592
6	1	16.67	0	32	30	0	22.5352113	21.1267606
7	0.8	13.336	0	38	38	0	26.7605634	26.7605634
8	0.6	10.002	0	42	42	0	29.5774648	29.5774648

Tabla 4.1. Resultados prácticos de operación en trayectoria 1

En la tabla 4.1. Los datos del ítem #1 indican que a un caudal de 36.84 lt/min abierta la válvula de compuerta al 100%, tenemos una presión manométrica (P1) en la entrada de la bomba de 0 psi y una presión manométrica (P2) de descarga en la salida de la bomba de 0 psi. EL resultado es un error ya que se interpreta como que no existe pérdidas, algo que no es posible en todo sistema tenemos pérdidas de fricción, aplicaremos la siguiente fórmula para conocer el valor del diferencial de presión en la salida de la bomba.

$$h_a = P2 - P1$$

$$\Delta P = h_a$$

$$\Delta P = 8 \text{ mca}$$

De acuerdo a la fórmula aplicada el diferencial de presión debería ser de 8mca un valor que debería apreciarse en el manómetro con identificación P2.

Las razones por la que existe este error son:

- El fabricante no proporciona la suficiente información de la bomba centrífuga como curvas de eficiencia, NPSH, por lo que no podemos determinar si nuestra bomba es eficiente.
- El rotámetro tiene un rango de error de +/- 5 % de la medida que apreciamos visualmente lo que puede dar a que se dé un error que varía entre 2 a 8 litros.

4.1.1. Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico

El punto de operación con los resultados prácticos se desarrolla mediante una proyección en el eje de caudal de la curva , (obtenido mediante el rotámetro $36.84 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$) hacia la línea de influencia (curva de la bomba), donde se llega a proyectar transversalmente la línea para ubicar la perdida a mencionado caudal, de la siguiente manera:

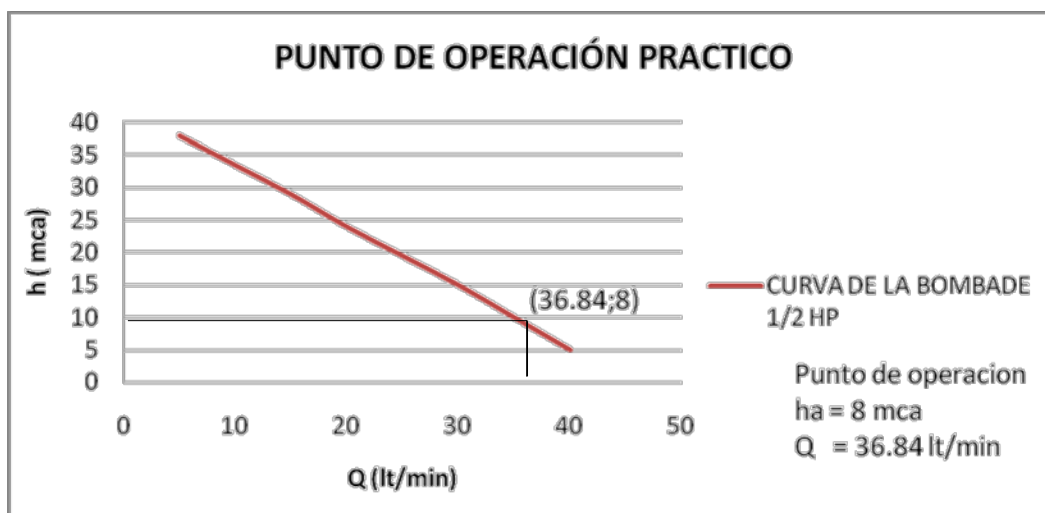


Fig.4.2. Punto de operación práctico proyectado trayectoria 1

Los resultados del punto de operación proyectado al 100% abierta la válvula de compuerta es el siguiente:

RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN PRACTICO EN TRAYECTORIA1	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
36.84	8

Tabla 4.2. Resultados prácticos de punto de operación en trayectoria 1.

El punto de operación teórico obtenido en el capítulo 3 es el siguiente:

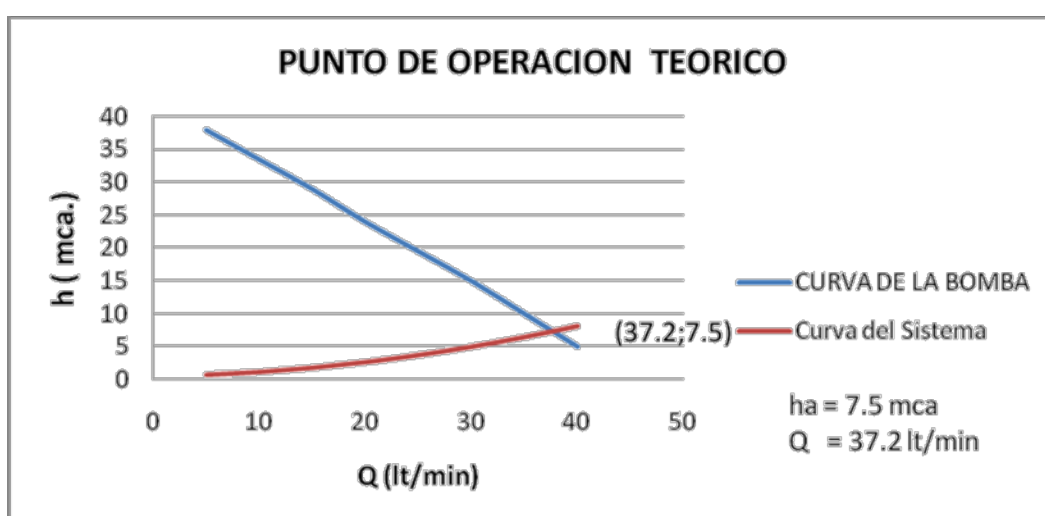


Fig.4.3. Punto de Operación Teórico

La figura 4.2. y la Figura 4.3. Permite visualizar la desviación que existe entre el punto de operación practico vs. El cálculo teórico hemos aplicado la siguiente fórmula para obtener el % de error que nos dan los datos teóricos vs los prácticos:

$$\% = \frac{\text{datos practicos}}{\text{datos teoricos}} (100)$$

PORCENTAJE DE ERROR EN RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN EN TRAYECTORIA1	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
0.96%	6.25 %

Tabla 4.3. Porcentaje de error en resultados del punto de operación en trayectoria1.

Las razones por las que existe esta desviación son:

- El rango de apreciación del rotámetro es de +/- 5 % en la lectura, que para esta trayectoria se llega a justificar el desfase de valoración.
- También debemos de considerar que en calculo teórico de perdidas los datos de propiedades del agua se los tomo a 10 °C y en base a esa tabulación se realizaron los cálculos; puede haber en estos datos una diferencia de temperatura del agua a la que se realizaron las practicas, y de esta manera desfazar los resultados teóricos vs prácticos.
- Los fabricantes de los accesorios utilizados no recomiendan datos de longitudes equivalentes $(\frac{L_e}{D})$ y coeficiente de fricción (k) propios de sus productos, donde se sumaría un margen de diferencia en los resultados.
- Las longitudes equivalentes $(\frac{L_e}{D})$ y coeficiente de fricción (k) tabuladas

En libros, son distintas según el autor y esto comparte síntomas de error y diferencias en los resultados.

4.1.2. Curva de la bomba Practico

La curva de la bomba proyectada a continuación parte de resultados prácticos tomados a diferentes caudales, con determinada presión dictada por los manómetros.

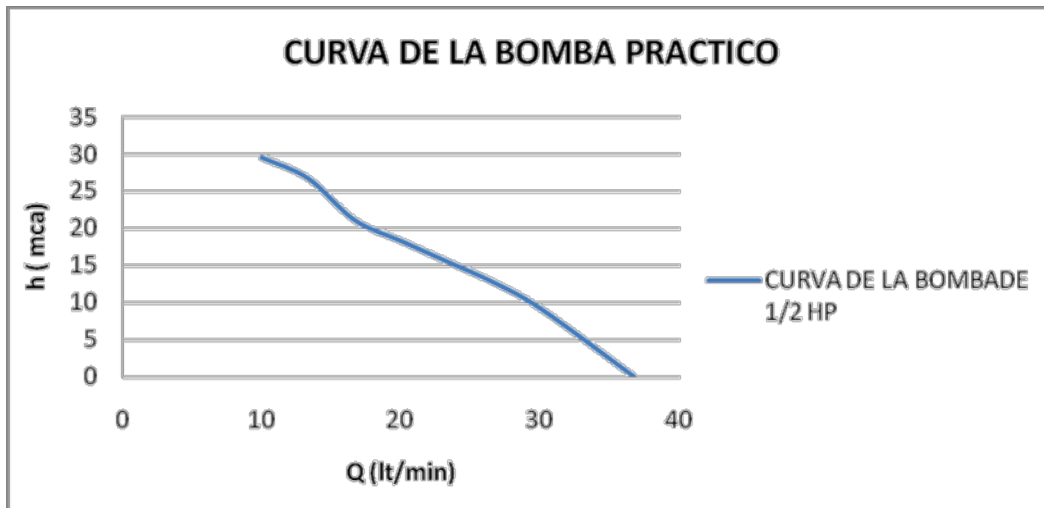


Fig.4.4. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria 1.

La curva de la bomba teórica dada por el fabricante es la siguiente:

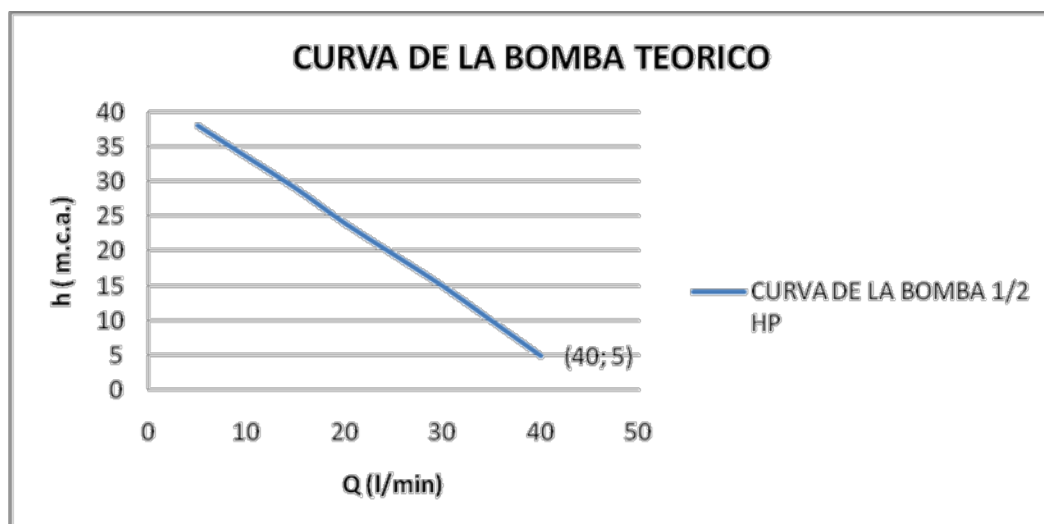


Fig.4.5. Curva de la bomba dada por el fabricante

Entre el grafico 4.4. y 4.5. Se visualiza la desviación entre la curva dada por el fabricante vs la curva obtenida mediante los datos prácticos esto se debe a:

- El grafico de la curva dada por el fabricante se muestra una curva con similitud a una pendiente recta que hace pensar que no existen perdidas por fricción, sin tomar en cuenta las posibles configuraciones

que el usuario disponga a realizar, contrario a lo que se visualiza en la curva realizada con los datos prácticos la cual tiene una tendencia a una parábola que dicta un resultado real con respecto a nuestra configuración.

- La diferencia de resultados se da por la configuración propia de nuestro sistema, por longitud de tubería, accesorios, válvulas, instrumentos que provocan una caída de presión mínima.

4.1.3. Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico)

A continuación comparamos los resultados de potencia obtenidos en el capítulo III con la potencia calculada con el punto de operación de la tabla 4.2.

RESULTADOS DE POTENCIA MINIMA REQUERIDA EN TRAYECTORIA 1		
POTENCIA TEORICA (HP)	POTENCIA PRACTICA (HP)	PORCENTAJE DE ERROR
0.072	0.0758	5.01%

Tabla 4.5. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria1.

En base al resultado, el porcentaje de error radica por los siguientes puntos:

- Los resultados consideran un porcentaje de error del 5.01 %, recordando que el punto de operación teórico y práctico acarrea una diferencia, esto se ve reflejado en la potencia, ya que los resultados de la misma dependen de los puntos de operación para cada caso, de esta manera se justifica el margen de error producido en la potencia mínima requerida.

4.2 Análisis en Trayectoria 2

Se toma en consideración la trayectoria de tubería con una bomba centrífuga en operación. Como se muestra en la Fig.4.6.

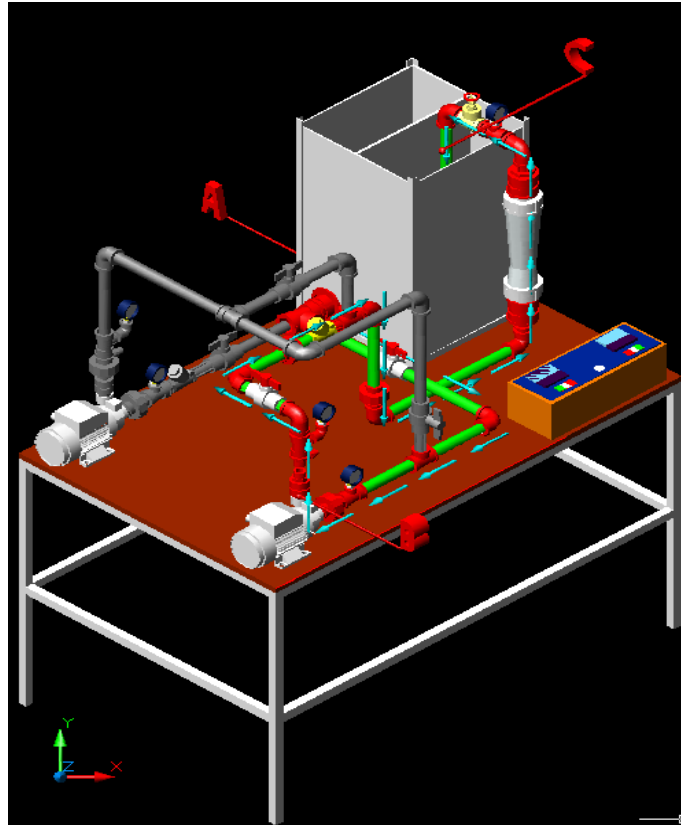


Fig.4.6. Trayectoria2 en 3D

En el banco de pruebas hay etiquetas que identifican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos es el siguiente:

1. Cerrar las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V1, V2, V5.
2. Abrir las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V3, V4.
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1.
4. Accionar la Bomba centrífuga que tiene la identificación B2, desde el tablero eléctrico Presionando el Pulsante de color verde con identificación P2.
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro.
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M3, M4, M5.

7. Anotar la medida de corriente que indica el amperímetro con la identificación A2.
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B2 con el pulsante de color rojo con identificación P2.

Los datos obtenidos al realizar 8 pruebas son los siguientes:

ITEM	Q (m3/h)	Q(lt/min)	P1 (psi)	P2 (psi)	P3 (psi)	h1 (mca)	h2 (mca)	h3 (mca)
1	2,2	36.674	0	0	0	0	0	0
2	1,8	30.006	0	14	13	0	9.85915493	9.15492958
3	1,6	26.672	0	20	18	0	14.084507	12.6760563
4	1,4	23.338	0	24	22	0	16.9014085	15.4929577
5	1,2	20.004	0	28	26	0	19.7183099	18.3098592
6	1	16.67	0	32	30	0	22.5352113	21.1267606
7	0,8	13.336	0	38	38	0	26.7605634	26.7605634
8	0,6	10.002	0	42	42	0	29.5774648	29.5774648

Tabla 4.6. Resultados prácticos de operación en trayectoria 2

4.2.1. Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico

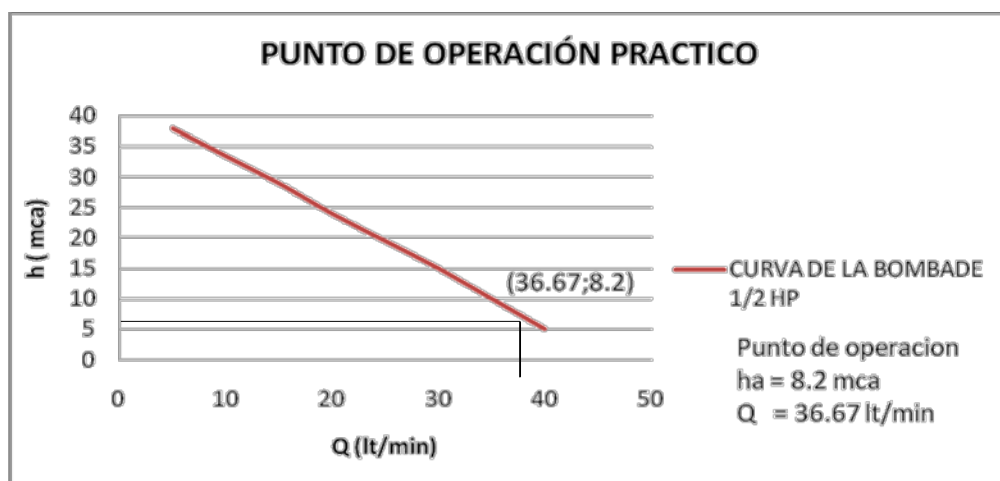


Fig.4.7. Punto de operación practico en trayectoria 2.

Los resultados del punto de operación al 100% abierta la válvula de compuerta es el siguiente:

RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN PRACTICO EN TRAYECTORIA 2	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
36.67	8.2

Tabla 4.7. Resultados prácticos de punto de operación en trayectoria 2.

El punto de operación teórico obtenido en el capítulo 3 es el siguiente:

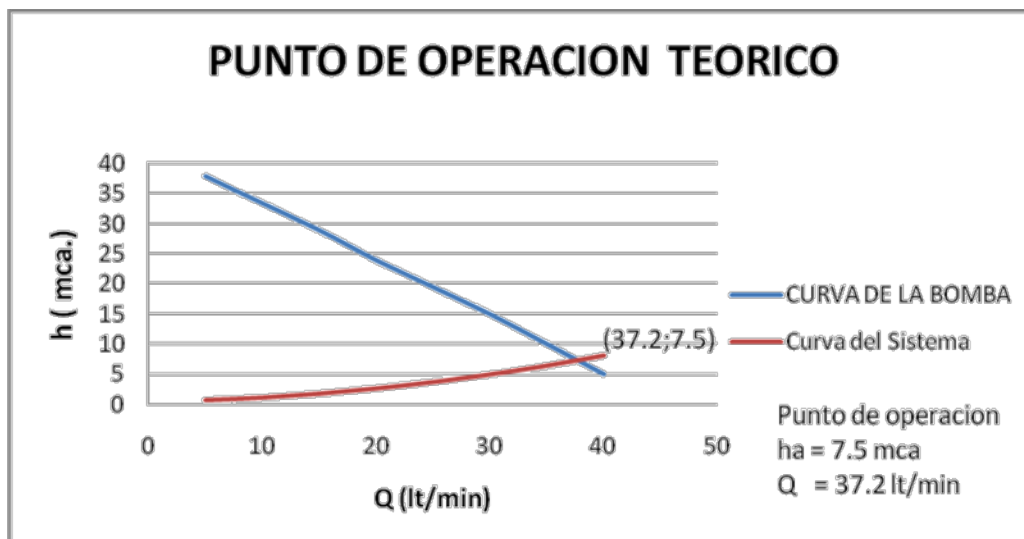


Fig.4.8. Punto de operación Teórico

PORCENTAJE DE ERROR EN RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN EN TRAYECTORIA 2	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
0.88%	6.09 %

Tabla 4.8. Porcentaje de error en resultados del punto de operación en la trayectoria 2.

4.2.2. Curva de la bomba Practico

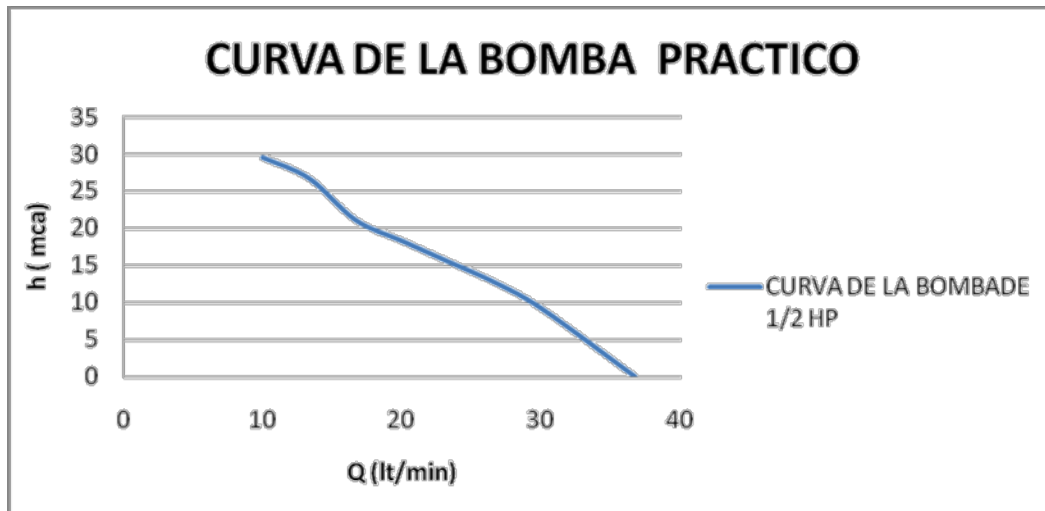


Fig.4.9. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria 2.

La curva de la bomba teórica dada por el fabricante es la siguiente:

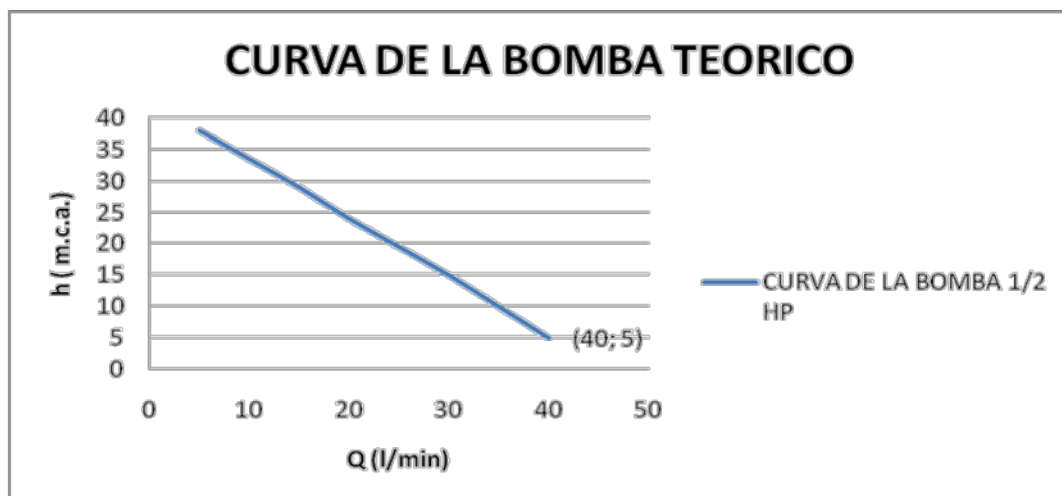


Fig.4.10. Curva de la bomba dada por el fabricante

4.2.3 Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico)

A continuación comparamos los resultados de potencia obtenidos en el capítulo 3 con la potencia calculada con el punto de operación de la tabla 4.7.

RESULTADOS DE POTENCIA MINIMA REQUERIDA EN TRAYECTORIA 2		
POTENCIA TEORICA (HP)	POTENCIA PRACTICA (HP)	PORCENTAJE DE ERROR
0.0733	0.0777	5.66%

Tabla 4.9. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria2.

4.2.4 Análisis de Comparación entre Resultados Trayectoria 1 y 2

- La trayectoria 2 tiene una mínima diferencia en los resultados con la trayectoria 1 por las siguientes razones: cada sistema funciona con una bomba centrífuga, la longitud de tubería y accesorios producen pérdidas por fricción que son muy similares.
- Los análisis realizados para la trayectoria 1 se aplican exactamente para la trayectoria 2 por lo explicado en el punto anterior.

4.3 Análisis en trayectoria en serie

Se toma en consideración dos bombas centrífuga en operación en operación en serie. Como se muestra en la Fig.4.11.

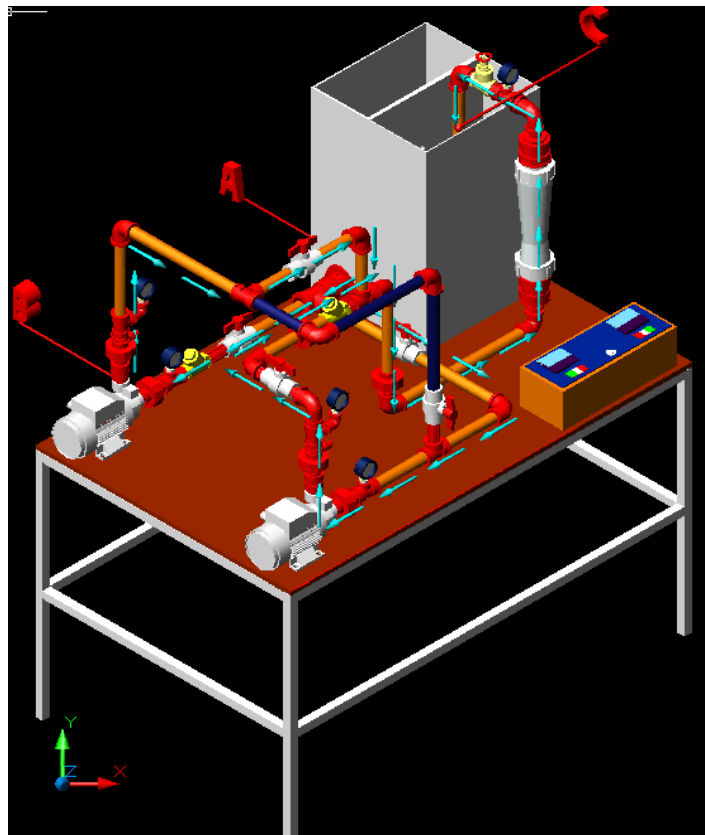


Fig.4.11. Trayectoria en serie en 3D

En el banco de pruebas hay etiquetas que identifican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos en conexión serie es el siguiente:

1. Cerrar las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V2, V4
2. Abrir las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V1, V3, V5
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1
4. Encender las Bombas centrifugas que tienen la identificación B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1 y P2
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M3, M4, M5
7. Anotar la medida de amperaje que indica el amperímetro con la identificación A1, A2
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrifuga B1, B2 con el pulsante de color rojo con identificación P1, P2

Los datos obtenidos luego de realizar 8 pruebas son los siguientes:

ITEM	Q (m ³ /h)	Q (lt/min)	P1 (psi)	P2 (psi)	P3 (psi)	P4 (psi)	P5 (psi)	h1 (mca)	h2 (mca)	h3 (mca)	h4 (mca)	h5 (mca)
1	2.23	37.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.8	30.00	0	12	24	12	26	0	8.45	16.90	8.45	18.30
3	1.6	26.67	0	16.5	34	18	36	0	11.61	23.94	12.67	25.35
4	1.4	23.33	0	22	44	22	45	0	15.49	30.98	15.49	31.69
5	1.2	20.00	0	26	52	26	54	0	18.30	36.61	18.30	38.02
6	1	16.67	0	30.5	62	30	64	0	21.47	43.66	21.12	45.07
7	0.8	13.33	0	36	74	35	76	0	25.35	52.11	24.64	53.52
8	0.6	10.00	0	42	83	41	85	0	29.57	58.45	28.87	59.85

Tabla 4.10. Resultados prácticos de operación en trayectoria serie

4.3.1 Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico

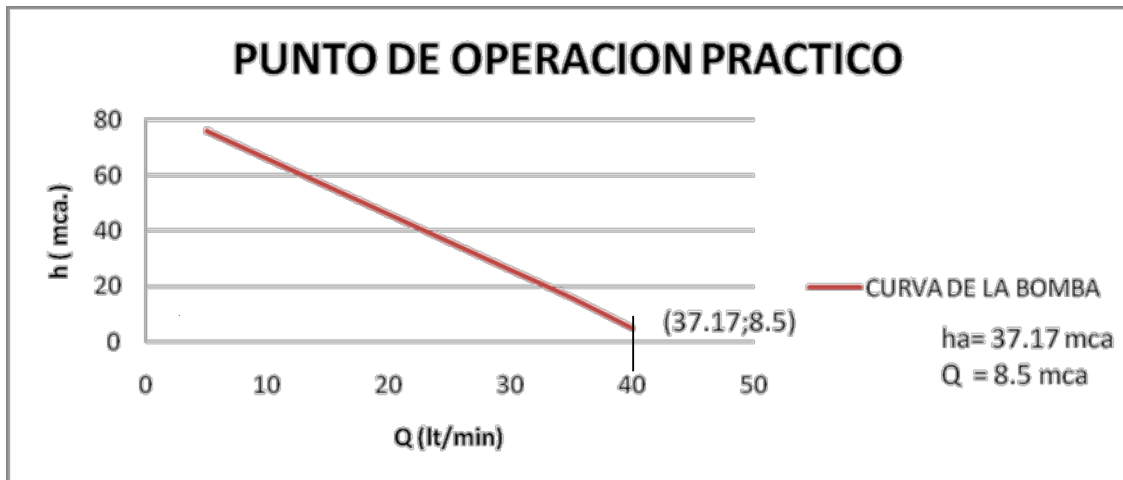


Fig.4.12. Punto de operación práctico en trayectoria Serie

Los resultados del punto de operación al 100% abierta la válvula de compuerta es el siguiente:

RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN PRACTICO EN TRAYECTORIA EN SERIE	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
37.17	8.5

Tabla 4.11. Resultados prácticos de punto de operación en trayectoria Serie.

Punto de operación teórico obtenido en el capítulo III es el siguiente:

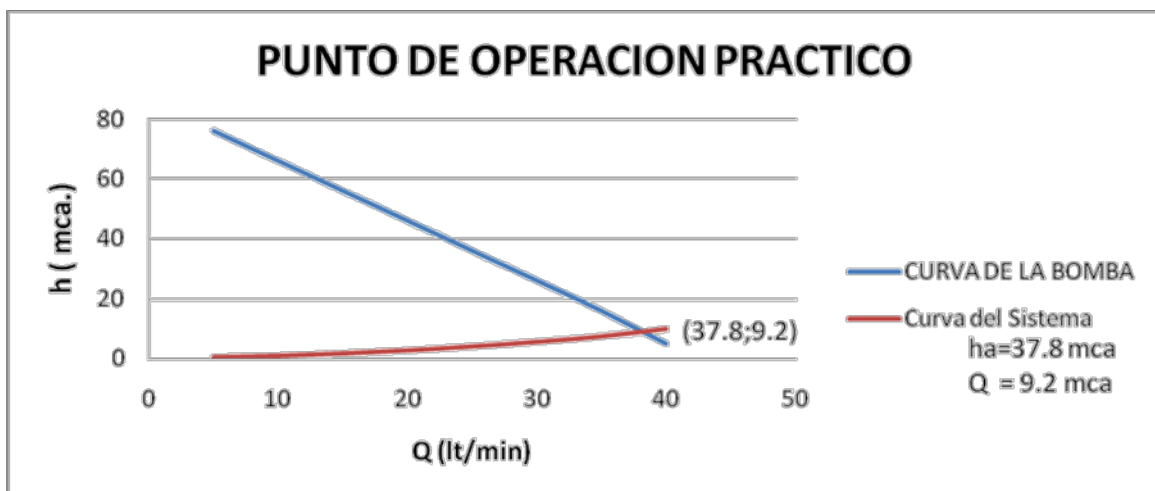


Fig.4.13. Punto de Operación Teórico

PORCENTAJE DE ERROR EN RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN EN TRAYECTORIA EN SERIE	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
1.66%	6.09 %

Tabla 4.12. Porcentaje de error en resultados del punto de operación en trayectoria Serie.

4.3.2. Curva de la bomba Practico

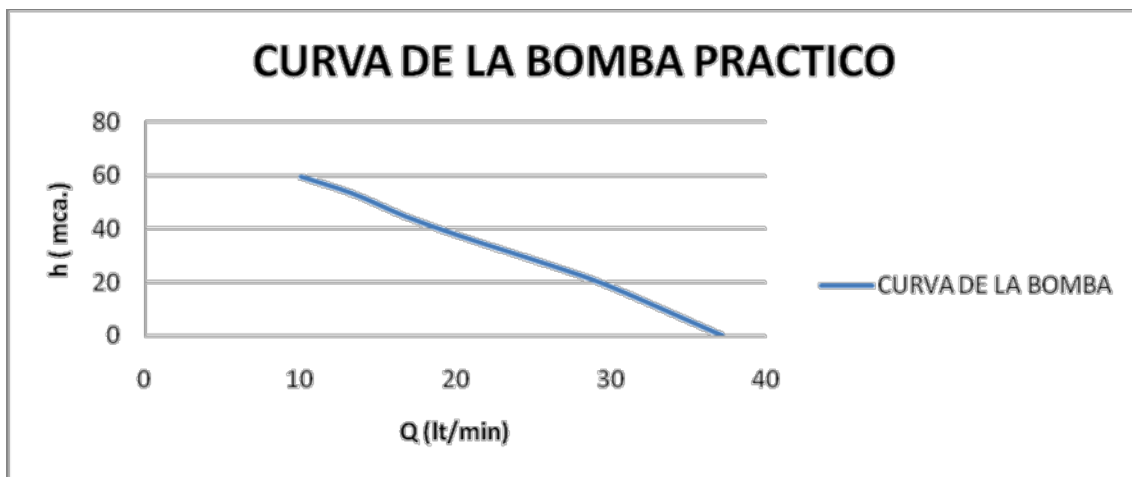


Fig.4.14. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria Serie.

Curva teórica de dos bombas centrífugas conectadas en serie obtenida en el capítulo III

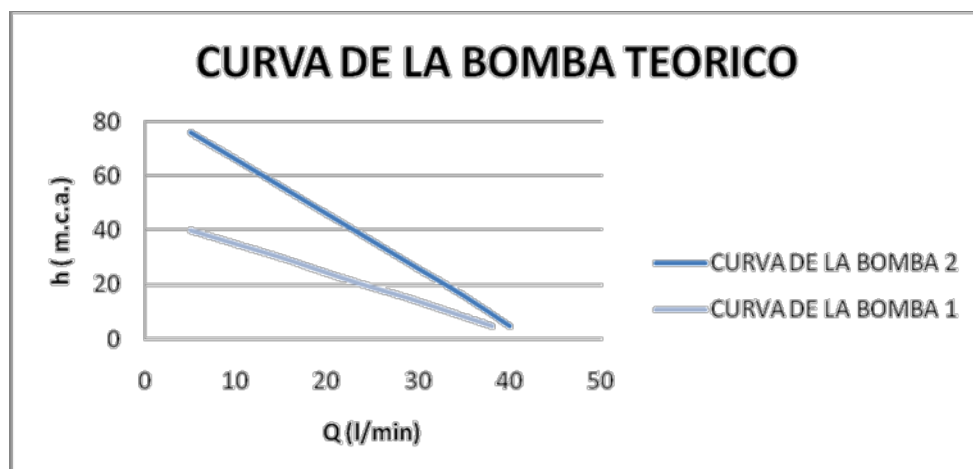


Fig.4.15. Curva de las bombas centrífugas conectadas en serie

En el grafico 4.14. y 4.15. Se visualiza la desviación entre la curva obtenida en el capítulo 3 vs la curva obtenida mediante los datos prácticos esto se debe a:

- El grafico de la curva dada obtenida en el capítulo 3 muestra una curva con similitud a una pendiente recta que denota alta eficiencia, sin tomar en cuenta las posibles configuraciones que el usuario disponga a realizar contrario a lo que se visualiza en la curva realizada con los datos prácticos la cual tiene una tendencia a una parábola que dicta un resultado real con respecto a nuestra configuración.

4.3.3 Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico)

A continuación comparamos los resultados de potencia obtenidos en el capítulo III con la potencia calculada con el punto de operación de la tabla 4.11.

RESULTADOS DE POTENCIA MINIMA REQUERIDA EN TRAYECTORIA EN PARALELO		
POTENCIA TEORICA (HP)	POTENCIA PRACTICA (HP)	PORCENTAJE DE ERROR
0.089	0.081	8.98%

Tabla 4.13. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria Serie.

4.3.4 Análisis de Comparación entre Resultados Serie, Trayectoria 1 y Trayectoria 2

- Al 100% abierta la válvula de compuerta los datos del punto de operación en la trayectoria 1, trayectoria2 , Serie; tienen una diferencia máxima de 0,5 mca en este punto no se distingue una diferencia entre los tres sistemas pero para el sistema en serie existen conectadas dos bombas centrifugas y a pesar de esto no notamos una diferencia esto se debe a que la altura manométrica que entregan las bombas esta alrededor de 8 a 8.5 mca pero la diferencia entre la trayectoria 1 y 2 respecto a la configuración en serie se da cuando el sistema requiere que la bomba entregue mayor altura manométrica vamos a darnos cuenta que al mismo caudal que entregue una sola bomba el sistema en serie con el mismo caudal entregara aproximadamente el doble de altura

manométrica que un sistema con una sola bomba centrífuga esto se nota al cerrar parcialmente la válvula de compuerta

4.4 Análisis en trayectoria en Paralelo

Se toma en consideración una bomba centrífuga en operación. Como se muestra en la Fig.4.16.

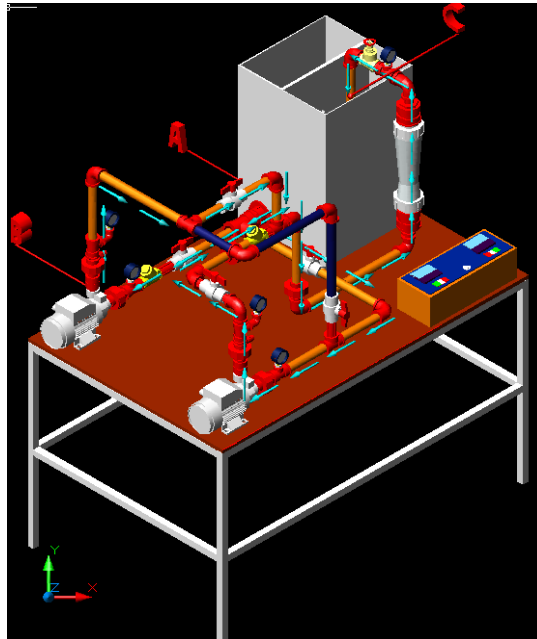


Fig.4.16. Trayectoria en paralelo en 3D

En el banco de pruebas hay etiquetas que identifican cada elemento, el procedimiento para obtener los datos prácticos es el siguiente:

1. Cerrar las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación:
V5
2. Abrir las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación:
V1, V2, V3, V4
3. Abrir totalmente la válvula de mariposa con la identificación VQ1
4. Encender la Bomba centrífuga que tiene la identificación B1, B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1, P2
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro

6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M3, M4, M5
7. Anotar la medida de corriente que indica el amperímetro con la identificación A1, A2
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B1, B2 con el pulsante de color rojo con identificación P1, P2

Los datos obtenidos al realizar 9 pruebas son los siguientes:

ITEM	Q (m ³ /h)	Q (lt/min)	P1 (psi)	P2 (psi)	P3 (psi)	P4 (psi)	P5 (psi)	h1 (mca)	h2 (mca)	h3 (mca)	h4 (mca)	h5 (mca)
1	4	66.68	0	8	0	0	8	0	5.63	0	0	5.63
2	3.6	60.012	0	14	8	0	14	0	9.85	563	0	9.85
3	3.2	53.344	0	18	14	0	18	0	12.67	9.85	0	12.67
4	2.8	46.67	0	22	20	0	22	0	15.49	9.85	0	15.49
5	2.4	40.00	0	26	24	0	26	0	18.30	16.90	0	18.30
6	2	33.34	0	30	30	0	30	0	21.12	21.12	0	21.12
7	1.6	26.67	0	36	36	0	36	0	25.35	25.35	0	25.35
8	1.2	20.00	0	40	40	0	40	0	28.16	28.16	0	28.16
9	0.8	13.33	0	46	46	0	46	0	32.39	32.392	0	32.39

Tabla 4.14. Resultados prácticos de operación en trayectoria Paralelo

4.4.1 Punto de Operación Práctico vs Punto de Operación Teórico

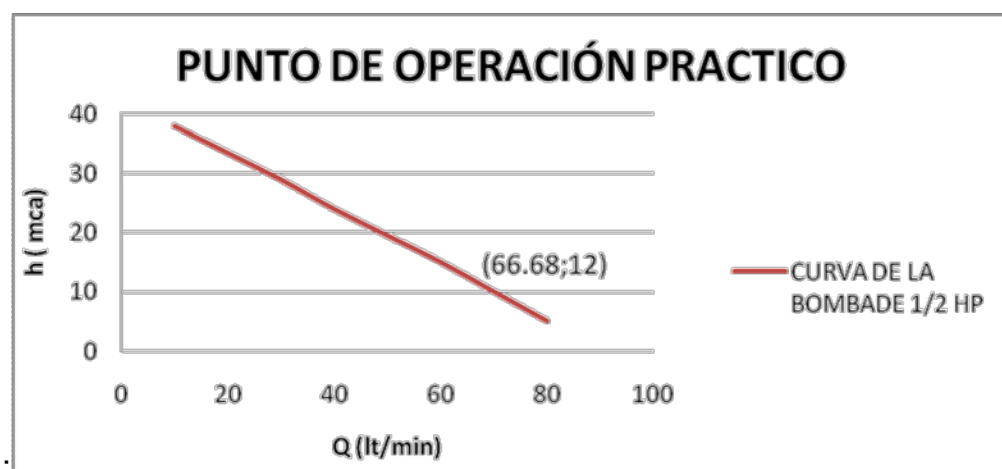


Fig.4.17. Punto de operación práctico en trayectoria Paralelo

Los resultados del punto de operación al 100% abierta la válvula de compuerta es el siguiente:

RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN PRACTICO EN TRAYECTORIA EN PARALELO	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
66.68	12

Tabla 4.15. Resultados prácticos de punto de operación en trayectoria Paralelo.

El punto de operación teórico obtenido en el capítulo III es el siguiente:

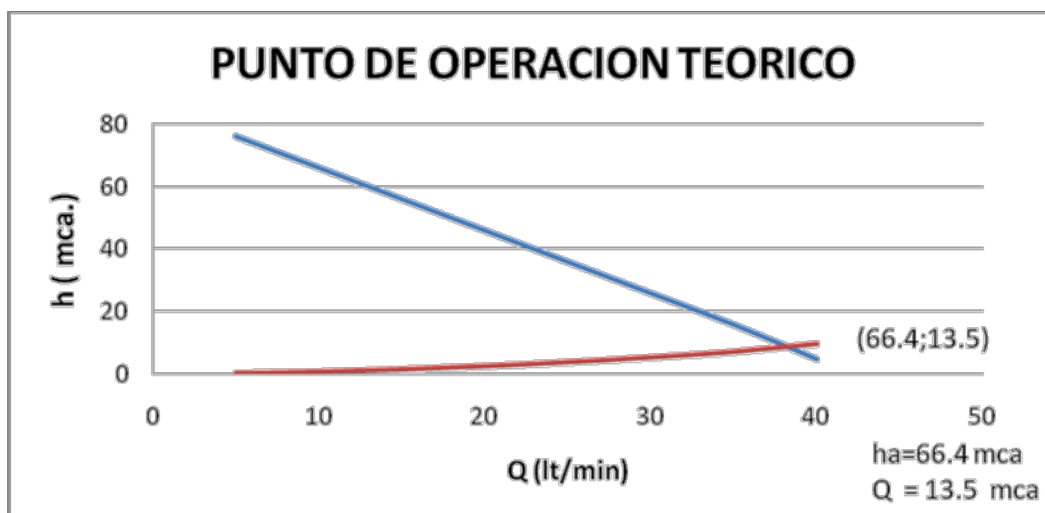


Fig.4.18. Punto de operación practico

La figura 4.18 y 4.19. Permite visualizar la desviación que existe entre el punto de operación practico con respecto al punto de operación teórico

RESULTADOS DEL PUNTO DE OPERACIÓN TEORICOS EN TRAYECTORIA EN PARALELO	
CAUDAL (lt/min)	COLUMNA DE AGUA (mca)
66.4	13.5

Tabla 4.16. Porcentaje de error en resultados del punto de operación en trayectoria Paralelo.

4.4.2 Curva de la bomba Practico

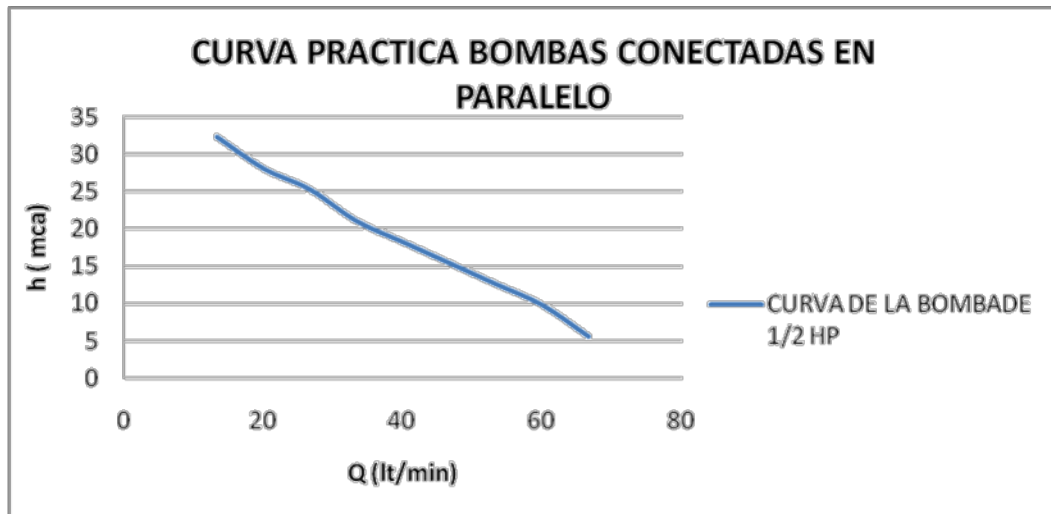


Fig.4.19. Curva de la bomba mediante datos prácticos observados en los instrumentos de medida para trayectoria Paralelo.

La curva teórica de dos bombas conectadas en paralelo obtenida en el capítulo 3 es el siguiente:

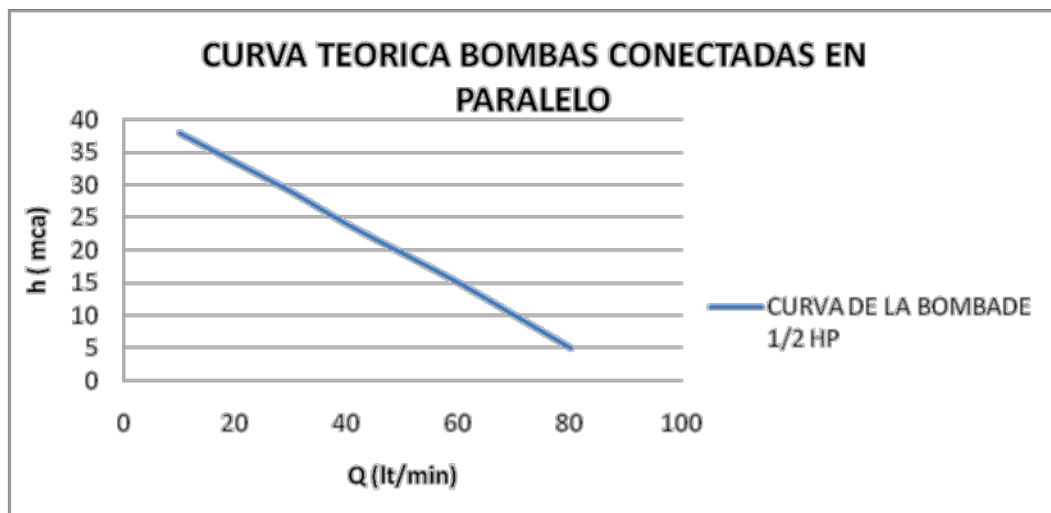


Fig.4.20. Curva teórica de dos bombas conectadas en paralelo

En el grafico 4.19 y 4.20. Se visualiza la desviación entre la curva obtenida en el capítulo 3 vs la curva obtenida mediante los datos prácticos esto se debe:

- El grafico de la curva obtenida en el capítulo 3 muestra una curva con similitud a una pendiente recta que denota alta eficiencia, sin tomar en

cuenta las posibles configuraciones que el usuario disponga a realizar contrario a lo que se visualiza en la curva realizada con los datos prácticos la cual tiene una tendencia a una parábola que dicta un resultado real con respecto a nuestra configuración.

4.4.3 Potencia mínima requerida (Teórico vs Práctico)

A continuación comparamos los resultados de potencia obtenidos en el capítulo III con la potencia calculada con el punto de operación de la tabla 4.15.

RESULTADOS DE POTENCIA MINIMA REQUERIDA EN TRAYECTORIA EN PARALELO		
POTENCIA TEORICA (HP)	POTENCIA PRACTICA (HP)	PORCENTAJE DE ERROR
0.195	0.206	5.33%

Tabla 4.20. Resultados de potencia mínima requerida en trayectoria Paralelo.

4.4.4 Análisis de Comparación entre Resultados Paralelo, Serie, Trayectoria 1 y Trayectoria 2

- Al 100% abierta la válvula de compuerta los datos del punto de operación en la trayectoria 1, trayectoria 2, Serie; Paralelo tienen una diferencia de 4 mca; esto se debe a que en el sistema en paralelo aumentamos la velocidad del fluido en el tramo donde las dos bombas unen sus caudales aumentando las pérdidas por fricción por lo que en este sistema existen un mayor altura manométrica que las bombas centrifugas tienen que entregar.
- Si comparamos los datos entre el sistema en serie y paralelo vamos a darnos cuenta de que al 100% la válvula de compuerta abierta los datos obtenidos no tienen una diferencia muy significativa pero al ir restringiendo el caudal notamos que mientras el caudal disminuye en el sistema en serie obtenemos una mayor entrega de altura manométrica pero en el sistema en paralelo a la misma altura manométrica obtenemos un mayor caudal esta es la principal diferencia que existe entre estos dos sistemas.

CAPITULO 5

5. COSTOS

Se toma en consideración los gastos realizados en la elaboración del banco de pruebas y a continuación se detallaran los diferentes tipos de costos:

- Costos de materiales
- Costos de mano de obra
- Costos de Ingeniería.
- Costos administrativos

5.1. Costos de materiales

Son todos aquellos materiales imprescindibles y necesarios utilizados para la construcción del banco de pruebas, entre los cuales se incluye el material eléctrico, hidráulico, accesorios.

5.1.1 Costos de Material eléctrico

ITEM	MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Contactador CNC 9ª	2	6,78	13,56
2	Selector metalico 2 pos	1	2,07	2,07
3	Tornillo punta Broca 1x6	15	0,02	0,27
4	Amperimetro 0-20 Ac	2	3,80	7,60
5	Pulsador Doble colores B/metal	2	6,11	12,22
6	Breaker 1 x 10 A.	2	5,50	11,00
7	Cable Superflex 3x16 AWG	6	1,23	7,38
8	Terminal Cerrado	5	0,04	0,22
9	Taipe Electrico 9m	1	0,38	0,38
10	Grapa para Cable Redonda 100 pzas	1	0,53	0,53
11	Tornillo para Maquina 5/32x1	10	0,02	0,18
12	Tornillo autoros 3/4x4	15	0,26	3,90
13	Canaleta Ranurada.25x25 gris	1	3,20	3,20
14	Cinta espuma doble faz	1	3,11	3,11
15	Tornillo con tuerca ave 1/4x1 1/2"	2	0,41	0,82
16	Enchufe 3P 15 A 125V Vertical Metálico	1	1,05	1,05
17	Cable Flexible 14	20	0,23	4,72
TOTAL				\$ 72,25

Tabla 5.1. Costo de material eléctrico

5.1.2 Costos de material hidráulico

ITEM	MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Bomba centrífuga de 1/2 HP	2	74,86	149,72
2	Neplo Polipropileno corrido 1"	12	0,65	7,82
3	Neplo Polipropileno corrido 1" x 6 cm	5	0,27	1,38
4	Adaptador para Tanque PVC 1"	1	2,27	2,27
5	Neplo Polipropileno 1 1/2" x 6 cm	2	1,50	3,01
6	Bushing Polipropileno 1 1/4" a 1"	2	0,67	1,35
7	Bushing Polipropileno 1 1/2" a 1 1/4"	2	0,76	1,53
8	Cinta Teflon 1/2 " 10 mt	24	0,25	6,21
9	Lija de agua N80	1	0,40	0,40
10	Lija de agua N400	5	0,33	1,69
11	Adaptador P/Tanque PVC 1 1/2"	1	6,21	6,21
12	Neplo Polipropileno 1" x 10 cm	3	0,37	1,12
13	Bushing Polipropileno 2" a 1"	2	1,48	2,96
14	Union Polipropileno 2"	2	2,33	4,67
15	Tubo de 1" PVC	1	22,2	22,20
16	Válvula de bola compacta de 1"	5	3,9	19,50
17	Manómetros de 0- 100 Psi	5	4,25	21,25
18	Codo 90° de 1"PVC	10	1,4	14,00
19	Te de 1" PVC	3	1,7	5,10
20	Universal de 1"	6	4,04	24,24
21	Codo 90° de 1/2 " PVC	2	0,42	0,84
22	Neplo Polipropileno corrido de 1/2 "	2	0,73	1,46
23	Bushing metálico de 1/2" a 3/8"	5	0,85	4,25
24	Te de 1" con reducción a 1/2" PVC	5	2,16	10,80
25	Válvula de mariposa de bronce 1"	1	26,06	26,06
26	Rotámetro de 1" 0- 4 m3/h	1	220,00	220,00
27	Tanque de Vidrio 40x40x60 (cm)	1	120,00	120,00
28	Válvula Check 1" bronce	2	31,53	63,06
29	Válvula pie 1 1/2" bronce con malla	1	38,20	38,20
30	Permatex	1	4,71	4,71
TOTAL				\$ 786,07

Tabla 5.2. Costo de material hidráulico

5.1.3 Costo de accesorios para banco de pruebas

ITEM	MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Tablero MDF 90 x 150(cm) color caoba	1	90,00	90
1	Estructura metálica color negro	1	130,00	130
1	Caja de madera 40x80x12 (cm.)	1	10,00	10
4	Soportes de aluminio para el tanque	4	1,50	6
TOTAL				\$ 236

Tabla 5.3. Costo de accesorios

5.2. Costos de mano de obra

La mano de obra es el trabajo de los obreros que se encuentran en contacto directo con el desarrollo de la producción. La valoración de mano de obra en la construcción de la máquina se determino de acuerdo a la siguiente base:

a) Mano de obra Ayudante de Plomería

- Salario¹ \$ 264,00
- Decimo tercero² \$ 22,00
- Decimo cuarto³ \$ 18,57
- Aporte IESS⁴ \$ 28,23
- Fondos de reserva⁵ \$ 22,00
- Vacaciones⁶ \$ 11,00

Total Mensual \$ 365,80 ÷ 30días

\$ 12,19 ÷ 8 horas

TOTAL MANO DE OBRA \$ 1,52 (1 hora)

¹ Acuerdo ministerial N°00249 publicado en el registro oficial N°358 del código del trabajo 2011

² Art. 111 y 112 del código de trabajo

³ Art. 113 y 114 del Código del Trabajo.- Derecho a la decimocuarta remuneración.- (Sustituido el inciso primero por el Art. 1 de la Ley 2007-77, R.O. 75, 2-V-2007).

⁴ Acuerdo N°0006, publicado en el registro oficial #13, el primero de febrero del 2007.

⁵ Art. 196..220 del código de trabajo

⁶ Art. 69.. 78 del código de trabajo

- Salario⁷ \$ 300,00
- Decimo tercero⁸ \$ 25,00
- Decimo cuarto⁹ \$ 21,42
- Aporte IESS¹⁰ \$ 32,08
- Fondos de reserva¹¹ \$ 25,00
- Vacaciones¹² \$ 12,50

Total Mensual \$ 416,00 ÷ 30 días

\$ 13,86 ÷ 8 horas

TOTAL MANO DE OBRA \$ 1,73 (1 hora)

NÚMERO DE HORAS	TRABAJADOR	COSTO POR HORA	COSTO TOTAL
12	Ayudante de Plomería	1,52	18,24
3	Estructural y soldadura	1,73	5,19
TOTAL			\$ 23,43

Tabla 5.4. Costo de mano de obra

5.3. Costos de Ingeniería y Administrativos

Se considera el 15 % del valor total del banco de pruebas. En base a un estándar de la empresa NEUMAC¹³

⁷ Acuerdo ministerial N°00249 publicado en el registro oficial N°358 del código del trabajo 2011

⁸ Art. 111 y 112 del código de trabajo

⁹ Art. 113 y 114 del Código del Trabajo.- Derecho a la decimocuarta remuneración.- (Sustituido el inciso primero por el Art. 1 de la Ley 2007-77, R.O. 75, 2-V-2007).

¹⁰ Acuerdo N°0006, publicado en el registro oficial #13, el primero de febrero del 2007.

¹¹ Art. 196..220 del código de trabajo

¹² Art. 69.. 78 del código de trabajo

¹³ Los costos Administrativos y de Ingeniería constan en el registro oficial de la empresa NEUMAC S.A.

DETALLE	COSTO (Dólares)
Material hidráulico	786,07
Material eléctrico	72,25
Accesorios	236.00
Mano de obra	23,43
Transporte	40.00
SUBTOTAL	1157,75
Administrativos y de Ingeniería 15%	173,66
SUBTOTAL	1331.41
IVA 12%	159,76
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (incluido IVA)	\$1491,17

Tabla 5.5. Costo total del proyecto.

6. CONCLUSIONES

- a) La potencia de las bombas elegido es $\frac{1}{2}$ HP por las justificaciones mencionadas en el punto 3.2.1 y satisface las necesidades del banco de pruebas en las distintas configuraciones desarrolladas, se tiene también que acotar que la potencia máxima requerida por el sistema es de 0.23 de HP y mencionado este punto, la bomba tiene un sobredimensionamiento y esto se debe a que comúnmente no se encuentran bombas de menor potencia en el mercado nacional.
- b) El conjunto hidráulico desarrollado partió por un análisis esquemático propuesto, donde se unieron las distintas configuraciones, los circuitos se cumplen mediante válvulas de restricción de paso que permiten formar el modelo requerido. El sistema definido permite realizar cuatro configuraciones, dos bombas operadas independientes, dos bombas conectadas en serie y dos bombas conectadas en paralelo, que lo vuelve un banco de pruebas completo para el desarrollo de distintas prácticas.
- c) En el análisis teórico vs. Practico se logro obtener un margen de error mínimo y este no supera el 10%, la problemática en la diferencia de error radica en los puntos desarrollados a continuación:
 - Las longitudes equivalentes y coeficientes de fricción tabulados, cambian de valoración según el autor del libro, esto hace que los cálculos no sean exactos, además en fabricación nacional la disponibilidad de este tipo de factores son nulos, no existen y si los hay, tienen muchas restricciones. Un ejemplo es el diámetro nominal interior tabulado del PVC según el fabricante Plastigama es de 0,957 plg y midiéndolo en distintos tramos de corte las dimensiones interiores no tienen similitud y este es otro punto a dificultar el proceso de cálculo.

- Para el rotámetro no se encontró coeficiente de fricción o longitud equivalente, siendo este radical para la realización de cálculos en las distintas configuraciones, la tolerancia de este es de $\pm 5\%$ en rango de medida de apreciación, solo con esta tolerancia ya se justifican las diferencias de resultados.
- La longitud equivalente de la válvula de compuerta tabulada no coincide con el dato de pérdida generado en nuestro sistema y esto se debe a que el diseño mecánico de esta válvula es diferente y nos produce una pérdida similar a una válvula de globo, este dato fue el considerado para el computo.
- Se obtuvo un error mínimo entre los cálculos teóricos versus los datos prácticos debido a que se utilizó un rotámetro que tiene un rango de error de $\pm 5\%$ y una bomba centrífuga la cual no tiene la suficiente información para determinar eficiencia, NPSH, potencia.

d) Desarrollando las guías de laboratorio permitirán al estudiante relacionar las diferentes trayectorias donde podrán interpretar resultados Teóricos vs. Prácticos, de la siguiente manera:

- En la trayectoria uno y dos podemos observar claramente que las respuestas tienen una similitud y esto se debe a que los tramos a considerar son muy pequeños, la cantidad de accesorios son similares tanto en número como en la estructura, lo que cambia en sí, son las longitudes de tubería que da el margen de variación de resultados.
- En la trayectoria en serie se puede visualizar el aumento de presión en los manómetros, y coinciden con la teoría impartida, la presión en esta configuración aumenta al doble manteniendo

el caudal, esto en la realidad cotidiana quiere decir que si necesitamos suministrar de agua a un edificio y una bomba no satisface la necesidad, dos bombas en configuración en serie alimentarían al último piso y mantendrían el mismo caudal.

- En la trayectoria en paralelo se puede visualizar el aumento de caudal en el rotámetro y coincide con la teoría adquirida, esto en la realidad cotidiana quiere decir, que si aumentamos el volumen de una piscina, una bomba se tardaría mucho tiempo en llenarla, mientras que dos bombas en configuración en paralelo lo harían en la mitad de tiempo.
- El efecto de las diferencias entre la configuración en serie y paralelo en este banco de pruebas se visualiza más claramente cuando la válvula de control de flujo está parcialmente cerrada.

7. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda utilizar accesorios que contengan información necesaria de coeficientes de fricción o longitudes equivalentes dados estrictamente por el fabricante, con el fin de que se pueda realizar cálculos que minimicen el error teórico vs práctico.
- b) Se recomienda utilizar bombas centrífugas las cuales contengan información donde se detalle curvas de eficiencia, NPSH, y potencia, datos necesarios en el momento de realizar cálculos más precisos.
- c) Debido al costo que representa instrumentos de medida digitales, se utilizó un rotámetro análogo, el cual tiene un rango de error alto para el uso en un banco de pruebas de laboratorio, por lo que se recomienda utilizar equipos electrónicos más precisos y digitales para futuros proyectos, y así obtener resultados con mayor precisión.

8. GLOSARIO

Aspiración.- ingreso de un fluido a través de una tubería o ducto.

Bomba.- dispositivo o maquina que mediante movimiento rotatorio hace que ingrese y a la vez salga fluido alojada en la cámara de la misma.

Bombeo.- acción cíclica de de entrada y salida de fluido mediante movimiento rotatorio.

Cabeza.- se denomina así a la altura que puede alcanzar un fluido impulsado por dispositivo con movimiento rotatorio.

Caudal.- cantidad de fluido que pasa a través de un determinado tiempo.

Centrífuga.- aplicar una fuerza a un fluido mediante un rodete con el fin de generar movimiento.

Ciclo.- Serie de etapas o estados por los que pasa un acontecimiento o fenómeno que se repiten en el mismo orden hasta llegar a una etapa o estado a partir de los cuales vuelven a repetirse en el mismo orden.

Curva.- Se hace referencia al desplazamiento o movimiento controlado que ejerce un fluido conjugando una variable.

Contrapresión.- es la fuerza negativa en una determinada área y esto se produce a la restricción del flujo a fluir.

Cinética.- Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.

Descarga.- Aligeramiento de un cuerpo a fluir cuando sale de un lugar confinado.

Energía.- Capacidad de un cuerpo para realizar trabajo en razón de su posición en un campo de fuerzas.

Estanqueidad.- Se habla de estanqueidad cuando el fluido se encuentra inmóvil, es decir que ninguna fuerza está actuando sobre ella.

Fluido.- Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso.

Fuerza.- capacidad para mover algo o a alguien que tenga peso o haga resistencia; como para levantar una piedra, tirar una barra, etc.

Fuga.- Salida de gas o líquido por un orificio o por una abertura producida accidentalmente.

Giro.- Movimiento o traslación de caudales por medio de letras, libranzas, etc.

Hidráulica.- Dicho de la energía: Producida por el movimiento del agua.

Hidrodinámicas.- Parte de la mecánica que estudia el movimiento de los **Fluidos.-** Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso y en nuestro caso se refiere al agua H₂O.

Homogeneidad.- Se menciona cuando el paso del fluido por una tubería abarca un área determinada en un mismo tiempo.

Impulso.- Fuerza que lleva un cuerpo en movimiento o en crecimiento.

Lóbulos.- Cada una de las partes, a manera de ondas, que sobresalen en el borde de un impulsor.

Mecánica.- se da como referencia a la fuerza ejercida por un mecanismo o conjunto.

Monofásico.- Se dice de la corriente eléctrica alterna que circula por dos conductores, y también de los aparatos que se alimentan con esta clase de corriente.

Motor.- Máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía.

NpsH.- Es la diferencia, en cualquier punto de un circuito hidráulico, entre la presión en ese punto y la presión de vapor del líquido en ese punto.

Neta.- Se refiere a la cantidad de fluido entregado en un punto dado.

Oleohidráulico.- es una rama de la hidráulica , el prefijo "oleo" se refiere a los fluidos en base a derivados del petróleo, como el aceite mineral por ejemplo. en esencia, la oleohidráulica es la técnica aplicada a la transmisión de potencia mediante fluidos confinados.

Orificio.- Abertura de ciertos conductos anatómicos.

Paletas.- Partes que sobresalen del borde de un impulsor que provocan la entrada y salida del fluido de la cámara.

Paralelo.- Se denomina **paralelo** al círculo formado por la intersección de la esfera terrestre con un plano imaginario perpendicular al eje de rotación de la Tierra.

Prototipo.- se puede referir a cualquier tipo de máquina en pruebas, o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo

Presurizar.- mantener o elevar la presión de un lugar es decir aplicar una fuerza en una determinada área.

Presión.- es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

Potencia.- En física, **potencia** es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

Peristálticas.- es un tipo de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular

Resistencia.- un fenómeno físico de la oposición que presenta un material a ser atravesado por una corriente eléctrica;

Rendimiento.- un fenómeno físico de la oposición que presenta un material a ser atravesado por una corriente eléctrica;

Revoluciones.- es una unidad de frecuencia, usada frecuentemente para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje.

Rodete.- es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido. Generalmente se utiliza este término para referirse al elemento móvil de una bomba centrífuga, pero en ocasiones también se utiliza para referirse al elemento móvil de turbinas y ventiladores.

Sistema.- es un objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual.¹ Todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma).

Serie.- es la suma de términos en sucesión, que en nuestro caso es la suma de presiones.

Succión.- extracción de fluido a través de un espacio confinado.

Turbina.- es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbo máquinas motoras. Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

Trasiego.- traslado de un líquido de un recipiente a otro.

Válvula.- es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Velocidad.- es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

Voltaje.- es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

Vapor.- es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es inodoro e incoloro y, a pesar de lo que pueda parecer, las nubes o el vaho blanco de una cacerola o un congelador, vulgarmente llamado "vapor", no son vapor de agua sino el resultado de minúsculas gotas de agua líquida o cristales de hielo.

9. BIBLIOGRAFIA

- MOTT. Robert Sexta Edición, Mc Graw Hill, Año de publicación 2006.
- CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Mc Graw Hill
- GILES, Ronald V. "Mecánica de los fluidos e Hidráulica". Serie de compendios Schaum. Segunda Edición. México 1.969.
- MCNAUGHTON, Kenneth. "Bombas. Selección, Uso y Mantenimiento". Editorial Interamericana, México 1.992.
- PERRY, John H. "Manual del Ingeniero Químico" Tomo II, Editorial Hispano- Americana, México 1996.
- ROCA, Felip. Oleohidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A.
- MATAIX, Segunda Edición, Año de publicación 1982
- FRANZINI, Segunda Edición, Año de publicación 1999
- MUSON. B.R. ET. AL. 1954

BIBLIOGRAFIA DE INTERNET:

- http://1.bp.blogspot.com/_54l7SpvV_Os/TFLd9Z9n8ZI/AAAAAAAAASY/DJh1SM6DV3A/s1600/bomba+centrifuga.jpg
- <http://www.fortunecity.es/imaginario/secreto/163/Quesbomb.htm>
- <http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas%20hidraulicas/BOMBAS.PDF>
- http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_3.htm
- <http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/junio2.htm>

ANEXO A

GUIAS DE LABORATORIO

A. GUIAS DE LABORATORIO

PRACTICA # 1: Primer sistema y segundo sistema funcionando una bomba centrífuga de ½ hp.

Objetivo General:

- Construir la curva de la bomba y la curva del sistema de la bomba centrífuga.

Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva característica
- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva del sistema.
- Determinar el Punto de operación del sistema.
- Determina la potencia mínima requerida de la bomba centrífuga.

Equipo Necesario

- Banco de pruebas conformado por dos bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo
- Manómetros de 0 – 150 PSI con conexión vertical
- Indicador de Flujo

Datos Experimentales

- Caudal circulante en el sistema
- Presión de succión y descarga para diferentes caudales
- Amperaje de la bomba centrífuga

Esquema 3D

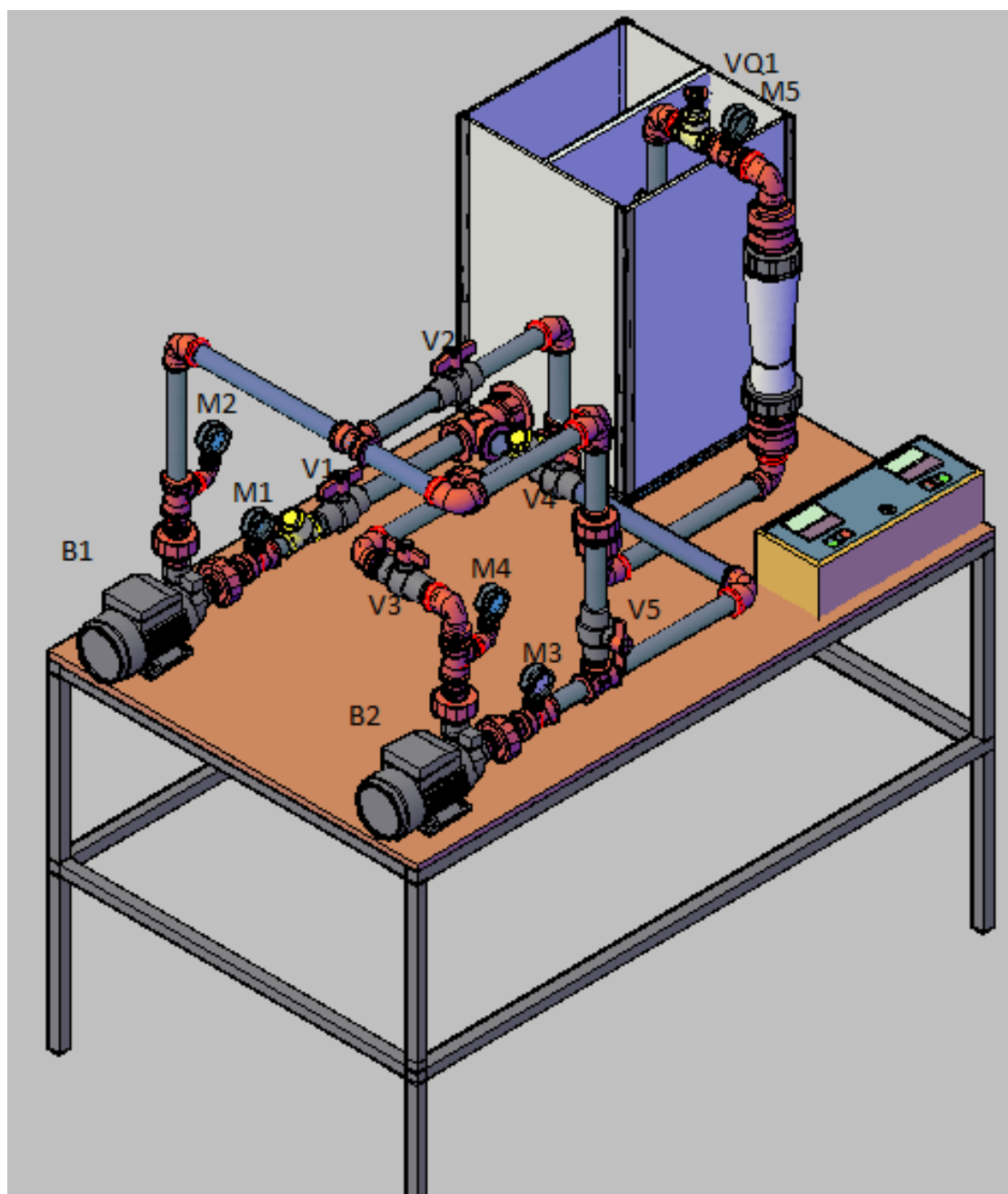


Fig. 3.1. Plano en 3D de banco de pruebas

Esquema Hidráulico

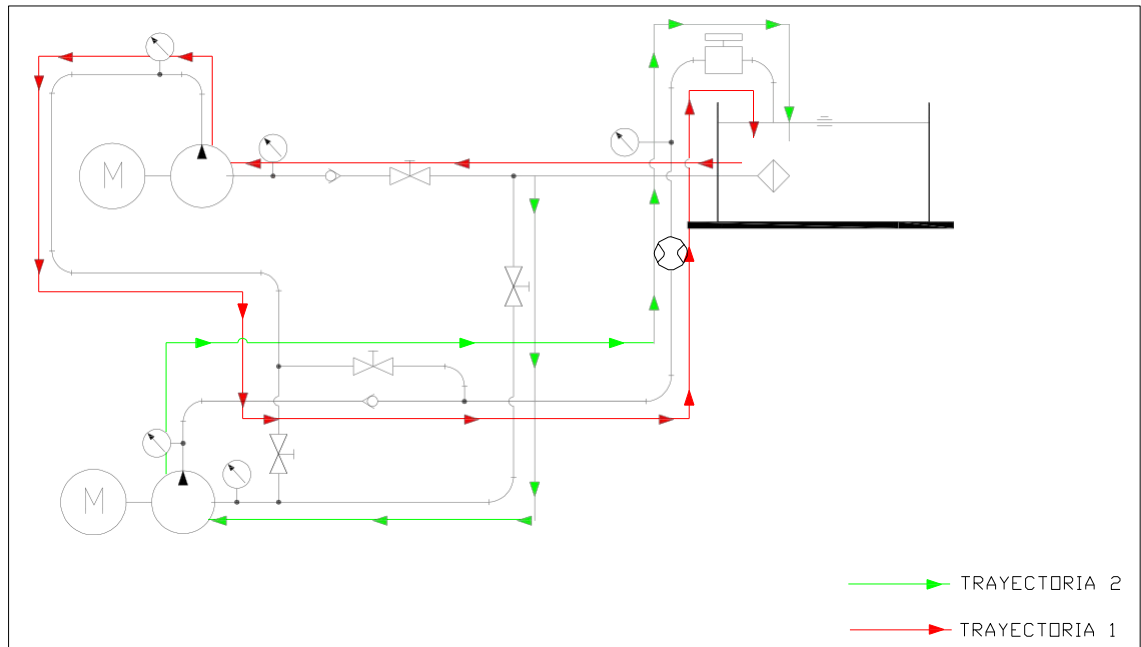


Fig. 3.6. Trayectoria 1 y 2 (Funcionamiento independiente).

Desarrollo Teórico

El desarrollo teórico consta de los siguientes puntos:

- Selección de datos de tubería
- Seleccionar coeficientes de fricción y longitudes equivalentes de accesorios y válvulas.
- Condiciones a la que va a trabajar el equipo y propiedades del agua.
- Aplicar Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli
- Realizar calculo de perdidas
- Sacar tabla de pérdidas a distinto caudal
- Ubicar la curva de la bomba dada por el fabricante
- Entrelazar curvas y ubicar el punto de operación

Desarrollo de la Práctica

Funcionamiento del sistema uno (Trayectoria 1)

1. Cerrar las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V3, V4, V5.
2. Abrir las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V1, V2.
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1.
4. Encender la Bomba centrífuga que tiene la identificación B1, desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1.
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro.
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M5.
7. Anotar la medida de amperaje que indica el amperímetro con la identificación A1.
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, amperaje y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B1 con el pulsante de color rojo con identificación P1.

TABLA DE DATOS

Tabla 1

Q Indicador de Flujo (m ³ / h)	Ps. (Psi)	Pd. (Psi)

Análisis de resultados Teóricos vs Prácticos

El análisis se hace con referencia a lo siguiente:

- Punto de operación
- Potencia mínima requerida
- Curva de la bomba

Funcionamiento del sistema dos (Trayectoria 2)

1. Cerrar las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V1, V2, V5.
2. Abrir las válvulas de giro de 90° que tiene la siguiente identificación: V3, V4.
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1.
4. Accionar la Bomba centrífuga que tiene la identificación B2, desde el tablero eléctrico Presionando el Pulsante de color verde con identificación P2.
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro.
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M3, M4, M5.
7. Anotar la medida de corriente que indica el amperímetro con la identificación A2.
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B2 con el pulsante de color rojo con identificación P2.

Tabla 2

Q Indicador de Flujo (m3 / h)	Ps. (Psi)	Pd. (Psi)

Recomendaciones

Conclusiones

PRÁCTICA # 2: Tercer sistema dos bombas centrifugas de ½ hp. Funcionando en conexión en serie

Objetivo General:

- Construir la curva característica y la curva del sistema de las dos bombas centrifugas funcionando en conexión en Serie

Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva característica
- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva del sistema.
- Determinar la potencia mínima requerida para que funcione el sistema
- Determinar el punto de operación de las bombas en conexión en serie

Equipo Necesario

- Banco de pruebas conformado por dos bombas centrifugas conectadas en serie y paralelo
- Manómetros de 0 – 150 PSI con conexión vertical
- Indicador de Flujo

Datos Experimentales

- Caudal circulante en el sistema
- Presión de succión y descarga para diferentes caudales
- Amperaje de cada bomba centrifuga

Esquema Hidráulico

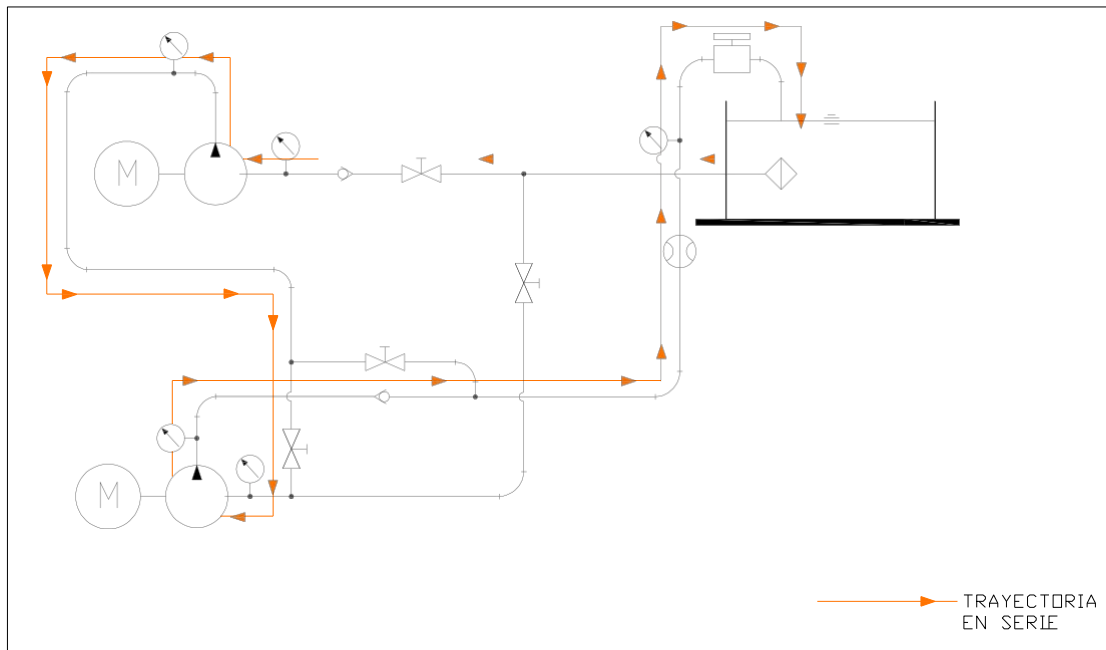


Fig. 3.4. Trayectoria 3 Conexión en Serie.

Marco Teórico

Se efectúa la conexión de varias bombas, una a continuación de la otra (conexión en serie) cuando no basta una sola bomba centrífuga para vencer la altura de elevación deseada. En el funcionamiento en serie se suman las alturas de elevación de cada una de las bombas para el mismo caudal elevado.

Desarrollo Teórico

El desarrollo teórico consta de los siguientes puntos:

- Selección de datos de tubería
- Seleccionar coeficientes de fricción y longitudes equivalentes de accesorios y válvulas.
- Condiciones a la que va a trabajar el equipo y propiedades del agua.
- Aplicar Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli
- Realizar cálculo de pérdidas
- Sacar tabla de pérdidas a distinto caudal

- Ubicar la curva de la bomba dada por el fabricante
- Entrelazar curvas y ubicar el punto de operación

Desarrollo de la Práctica

Funcionamiento del sistema tres (Trayectoria 3)

1. Cerrar las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V2, V4
2. Abrir las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V1, V3, V5
3. Abrir totalmente la válvula de compuerta con la identificación VQ1
4. Encender las Bombas centrífugas que tienen la identificación B1 y B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1 y P2
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M3, M4, M5
7. Anotar la medida de amperaje que indica el amperímetro con la identificación A1, A2
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B1, B2 con el pulsante de color rojo con identificación P1, P2

Tabla 3

Datos obtenidos practica conexión en serie

Q Indicador de Flujo (m³ / h)	Ps. (Psi)	Pd. (Psi)

Análisis de resultados Teóricos vs Prácticos

El análisis se hace con referencia a lo siguiente:

- Punto de operación
- Potencia mínima requerida
- Curva de la bomba

Recomendaciones

Conclusiones

PRÁCTICA # 3 Cuarto sistema dos bombas centrifugas de ½ hp. Funcionando en conexión en paralelo

Objetivo General:

- Construir la curva característica y la curva del sistema de las dos bombas centrifugas funcionando en conexión en Paralelo

Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva característica
- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la curva del sistema.
- Determinar la potencia mínima requerida para que funcione el sistema.
- Determinar el punto de operación de las bombas en conexión en Paralelo

Equipo Necesario

- Banco de pruebas conformado por dos bombas centrifugas conectadas en serie y paralelo
- Manómetros de 0 – 150 PSI con conexión vertical
- Indicador de Flujo

Datos Experimentales

- Caudal circulante en el sistema
- Temperatura ambiente
- Presión de succión y descarga para diferentes caudales
- Amperaje de cada bomba centrifuga

Esquema hidráulico

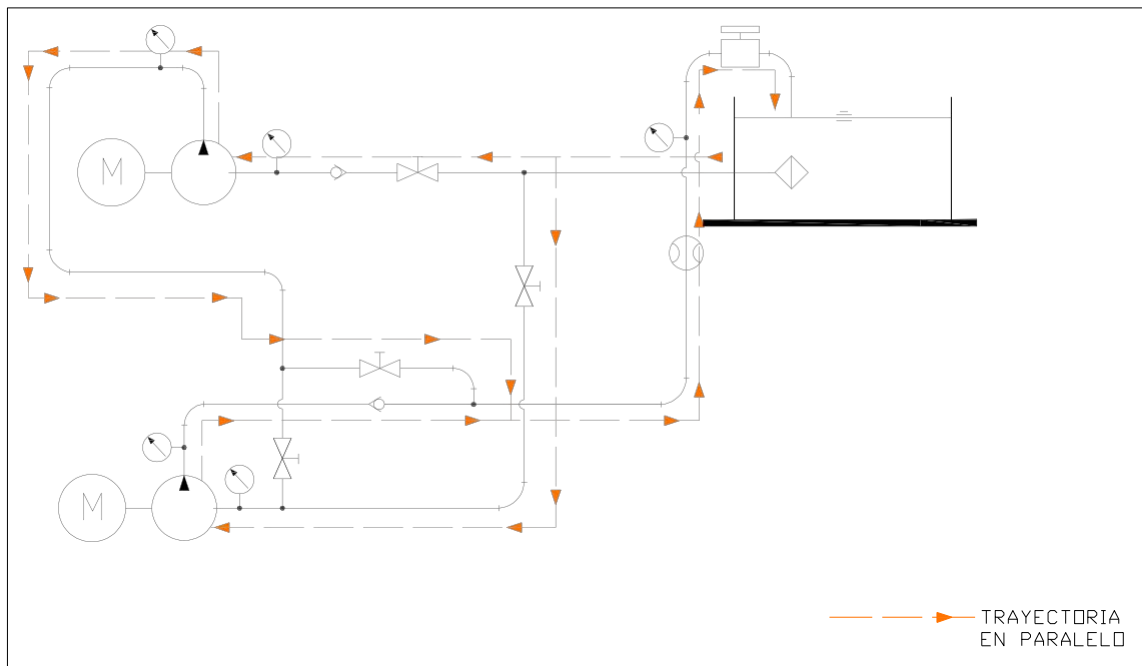


Fig. 3.5 Trayectoria 4 conexión en Paralelo

Marco Teórico

Si dos o más bombas se acoplan en paralelo se logra como resultado un aumento del caudal elevado, sin un aumento de la presión. En este caso cada bomba tiene su línea de succión dentro del tanque de agua y se conectan todas las salidas a una común

Desarrollo de la Teórico

El desarrollo teórico consta de los siguientes puntos:

- Selección de datos de tubería
- Seleccionar coeficientes de fricción y longitudes equivalentes de accesorios y válvulas.
- Condiciones a la que va a trabajar el equipo y propiedades del agua.
- Aplicar Balance de Energía aplicando la ecuación de Bernoulli
- Realizar calculo de perdidas
- Sacar tabla de pérdidas a distinto caudal

- Ubicar la curva de la bomba dada por el fabricante
- Entrelazar curvas y ubicar el punto de operación

Desarrollo de la Práctica

Funcionamiento del sistema tres (Trayectoria 3)

1. Cerrar las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V5
2. Abrir las válvulas de media vuelta que tiene la siguiente identificación: V1, V2, V3, V4
3. Abrir totalmente la válvula de mariposa con la identificación VQ1
4. Encender la Bomba centrífuga que tiene la identificación B1, B2 desde el tablero eléctrico accionando el Pulsante de color verde con identificación P1, P2
5. Anotar la medida de caudal que indica el Rotámetro
6. Anotar la medida de presión que indica el manómetro con la identificación M1, M2, M3, M4, M5
7. Anotar la medida de corriente que indica el amperímetro con la identificación A1, A2
8. Repetir los pasos del 1 al 7 cerrando parcialmente la válvula VQ1 y anotar los datos de presión, corriente y caudal.
9. Apagar la Bomba centrífuga B1, B2 con el pulsante de color rojo con identificación P1, P2

Tabla 4

Datos obtenidos practica conexión en Paralelo

Q Indicador de Flujo (m³ / h)	Ps. (Psi)	Pd. (Psi)

Análisis de resultados Teóricos vs Prácticos

El análisis se hace con referencia a lo siguiente:

- Punto de operación
- Potencia mínima requerida
- Curva de la bomba

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXO B

CATÁLOGO ELECTROBOMBA PERIFERICA

B. CATÁLOGO ELECTROBOMBA PERIFERICA



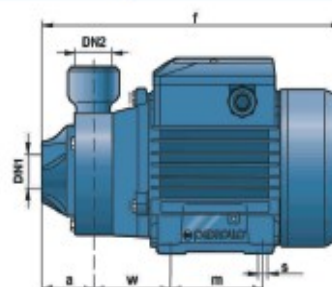
ELECTROBOMBA PERIFERICA PKM60

● Marca	: Pedrollo
● Modelo	: PKM60
● Código	: 100356
● Procedencia	: Italia

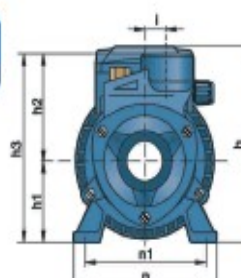


Unidad Electromecánica	
Voltaje (volts)	220 V (1 ~)
Potencia (Kw)	0.37 Kw
Potencia (Hp)	0.5 Hp
Intensidad (A)	2.5
Frecuencia	50 Hz
Condensador	10 µf
Potencia máxima	550 W
Materiales	
Cuerpo bomba	Hierro fundido
Eje	Acero inoxidable EN 10088-3
Sellos (O-ring)	Cerámica grafita NBR
Impulsor	Latón
Límites de uso - Estándares de referencia	
Temperatura máxima op.	60° C
Profundidad de succión	Hasta 8 metros

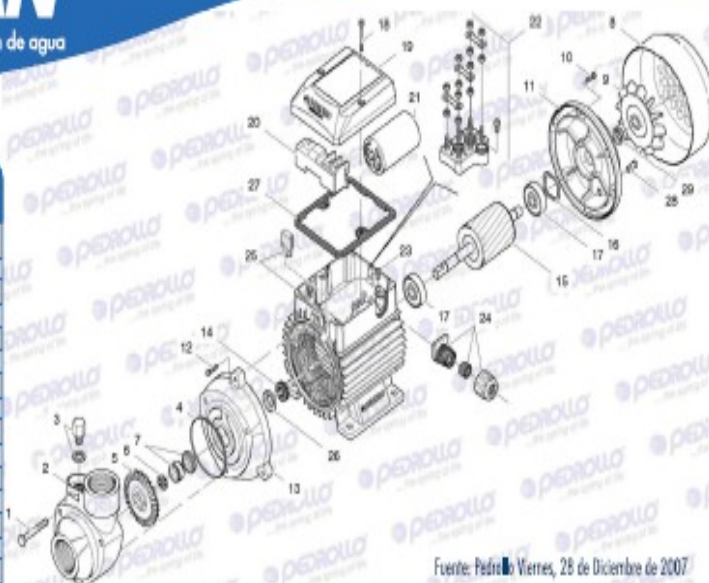
Producto	
Tipo impulsor	Rodete periférico radial
Polos	2 polos
Presión mínima	5 mca
Presión máxima	40 mca
Caudal máximo	40 l/min
Revoluciones	2900 1/min
Protección de motor	IP 44
Tipo aislación	Clase F



Tipo Monofásica	Bocas		Dimensiones mm													Kg 1~
	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s		
Pkm 60	1"	1"	42	243	152	63	75	138	20	80	120	100	55	7	5.3	



Versión monofásica	
Nº	Descripción
1	Tornillo del cuerpo bomba
2	Cuerpo bomba
3	Tapón con arandela
4	Junta tórica del cuerpo bomba
5	Rodete
6	Arandela
7	Sello mecánico Ø 12mm
8	Tapa del ventilador
9	Ventilador
10	Tornillo
11	Tapa motor
12	Tornillo
13	Soporte motor
14	Deflector
15	Eje con rotor
16	Muelle de compensación
17	Rodamiento
18	Tornillo
19	Tapa bornes
20	Placa bornes
21	Condensador 10 µf
23	Tornillo
24	Prensacable
25	Caja motor con estator bobinado (230 V - 50 Hz)

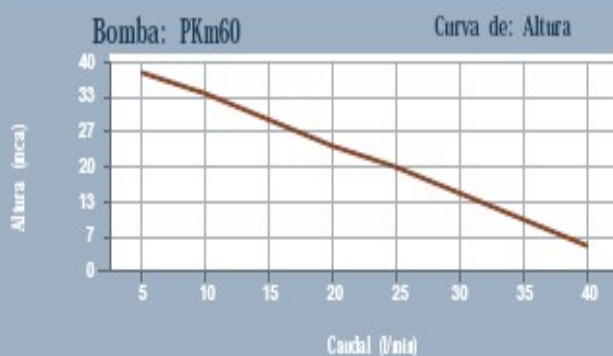


Fuente: Pedro Viñes, 28 de Diciembre de 2007

Protección IP55

11	Tapa motor
26	Anillo de cierre
27	Junta
28	Tapón
29	Anillo de cierre

Gráfica de Caudales...



PKM60

Modelo registrado N° 72753
Sello mecánico especial
Curva certificada 9906 App. A.

Aplicaciones:
Riego de Huertas y jardines

PKM 60	0.37	0.50	H mts	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5	-	-	-	-
--------	------	------	-------	----	----	------	----	----	------	----	----	---	---	---	---	---

PK

electrobombas con rodete periférico



PKm 60[®]

CAMPO DE LAS PRESTACIONES

Caudal hasta 90 l/min (5.4 m³/h)

Altura manométrica hasta 100 m

LIMITES DE UTILIZO

Altura de aspiración manométrica hasta 8 m

Temperatura del fluido hasta + 60°C

Máxima temperatura ambiente hasta + 40°C

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD:

EN 60 335-1	EN 60034-1
IEC 335-1	IEC 34-1
CEI 61-150	CEI 2-3

EMPLEOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia que no contenga partículas abrasivas y/o líquidos químicamente agresivos para los materiales que constituyen la bomba.

GRACIAS A SU FIABILIDAD, SENCILLEZ DE EMPLEO Y ECONOMIA, SON PARTICULARMENTE APTAS PARA EL EMPLEO DOMESTICO Y ESPECIALMENTE PARA LA DISTRIBUCION AUTOMATICA DE AGUA ACOPLADAS A PEQUEÑOS EQUIPOS HIDRONEUMATICOS, PARA RIEGOS DE HUERTAS Y JARDINES, PARA INCREMENTAR LA INSURGENTE PRESION DE LA RED DE ACUEDUCTOS.

La instalación se debe efectuar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

GARANTIA: 2 AÑOS

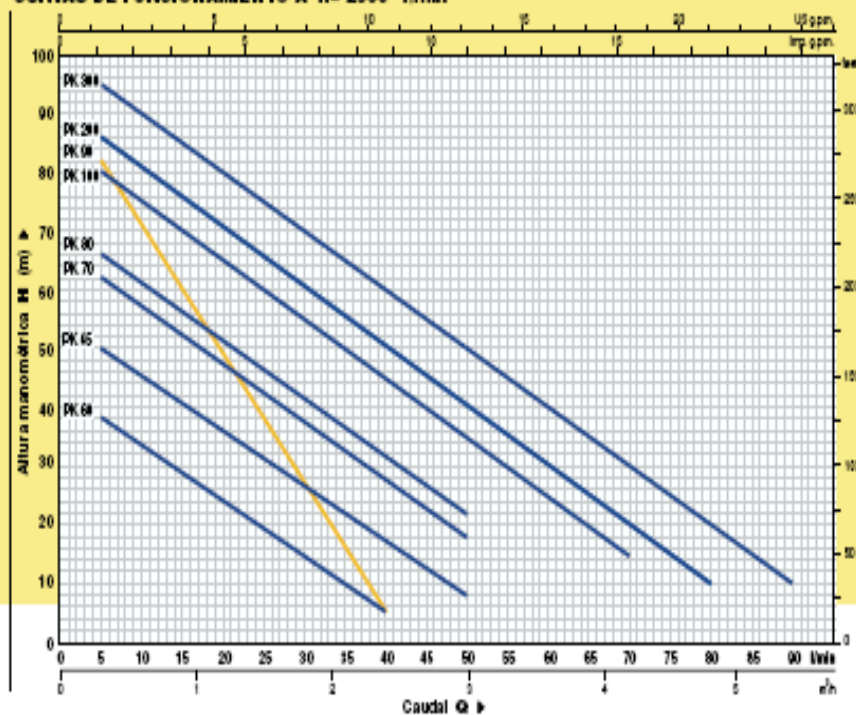
(según nuestras condiciones generales de venta).

CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

- **CUERPO BOMBA:**
en hierro fundido, con bocas de aspiración e impulsión roscadas gas UNI ISO 228/1.
- **SOPORTE MOTOR** patente n° 1289150:
en aluminio con laminita de ajuste frontal en latón, que reduce las dificultades de arranque causadas por el bloqueo del rodete tras largos periodos de inactividad.
- **RODETE:**
en latón, del tipo aspas periféricas radiales, flotante respecto al eje.
- **EJE MOTOR:**
en acero inoxidable AISI 430F (AISI 416 hasta 0.50 kW).
- **SELLO MECANICO:**
cerámica y grafito.
- **MOTOR ELECTRICO:**
las bombas están acopladas directamente a un motor eléctrico PEDROLLO expresamente dimensionado, de tipo asincrónico con elevado rendimiento, silencioso, cerrado, con ventilación externa, de forma constructiva "IMB3", apto para servicio continuo. AISLAMIENTO clase F (B hasta a 0.75 kW).
El protector térmico (salvavoltaje) está incorporado en los motores monofásicos.
Los motores trifásicos deben estar protegidos con un salvavoltaje exterior adecuado, por lo que se prevé una conexión conforme a las normas vigentes.
- **PROTECCION:** IP 44.
- **MODELO REGISTRADO** n° 72753



CURVAS DE FUNCIONAMIENTO A n= 2900 1/min



DATOS DE FUNCIONAMIENTO A n= 2900 1/min

MODELO BOMBA		POTENCIA		Q m^3/h															
Monofásica	Trifásica	KW	HP	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5							
PKm 65	PK 65	0.50	0.70	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8						
PKm 70	PK 70	0.60	0.85	65	62	57	52	47	42	37	32	27	18						
PKm 80	PK 80	0.75	1	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22						
PKm 90	PK 90	0.75	1	90	82	71	60	49	38	27	17	5							
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	95	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15				
PKm 200	PK 200	1.5	2	90	85	81	75	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10			
---	PK 300	2.2	3	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10		

Q = CAUDAL H = ALTURA MANOMETRICA TOTAL

Tolerancia de las curvas de prestaciones según ISO 2548.

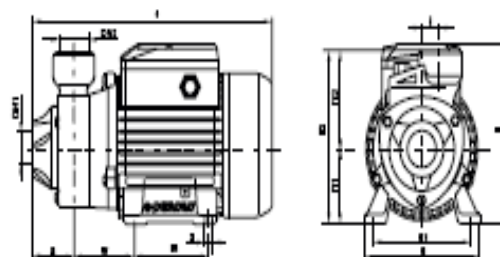


TABLA DE DIMENSIONES

MODELO BOMBA		DIMENSIONES mm													
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	l	m	n	n1	w	s
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	42	243	152	63	75	138	20	80	120	100	55	7
PKm 65	---	1"	1"	43	255	152	63	80	143	20	80	120	100	55	7
---	PK 65	1"	1"	43	255	152	63	80	143	20	80	120	100	55	7
PKm 70-80	PK 70-80	1"	1"	52	235	179	71	85	152	20	90	132	112	62	7
PKm 90	PK 90	1 1/4"	1 1/4"	52	235	179	71	85	152	20	90	132	112	62	7
PKm 100	PK 100	1"	1"	55	322	203	80	94	174	20	100	155	125	65	9
PKm 200	---	1"	1"	55	342	203	80	94	174	20	100	155	125	65	9
---	PK 300	1"	1"	55	342	203	80	94	174	20	100	155	125	65	9
---	PK 300	1"	1"	55	342	203	80	94	174	20	100	155	125	65	9

ANEXO C

CATÁLOGO DE ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍA PVC

C. CATALOGO DE ESPECIFICACIONES PARA TUBERIA PVC

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kgf/cm ²
	20	17.6	1.2	1.25 ■	181	12.75
		17.4	1.3	1.60	232	16.32
		17.0	1.5	2.00	290	20.40
	25	22.6	1.2	1.00 ■	145	10.20
		22.4	1.3	1.25	181	12.75
		22.0	1.5	1.60	232	16.32
	32	29.6	1.2	0.80 ■	116	8.16
		29.4	1.3	1.00	145	10.20
		29.0	1.5	1.25	181	12.75
	40	37.6	1.2	0.63 ■	91	6.43
		37.4	1.3	0.80	116	8.16
		37.0	1.5	1.00	145	10.20
		36.2	1.9	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63 ■	91	6.43
		47.0	1.5	0.80	116	8.16
		46.2	1.9	1.00	145	10.20
		45.2	2.4	1.25	181	12.75
63		60.0	1.5	0.63 ■	91	6.43
		59.0	2.0	0.80	116	8.16
		58.2	2.4	1.00	145	10.20
		57.0	3.0	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50 ■	73	5.10
		71.4	1.8	0.63	91	6.43
		70.4	2.3	0.80	116	8.16
		69.2	2.9	1.00	145	10.20
90		86.4	1.8	0.50 ■	73	5.10
		85.6	2.2	0.63	91	6.43
		84.4	2.8	0.80	116	8.16
		83.0	3.5	1.00	145	10.20
		81.4	4.3	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50 ■	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20
		99.6	5.2	1.25	181	12.75
	125	120.0	2.5	0.50	73	5.10
		118.8	3.1	0.63	91	6.43
		117.2	3.9	0.80	116	8.16
		115.4	4.8	1.00	145	10.20
		113.0	6.0	1.25	181	12.75
	140	134.6	2.7	0.50 ■	73	5.10
		133.2	3.4	0.63	91	6.43
		131.4	4.3	0.80	116	8.16
		129.2	5.4	1.00	145	10.20
		126.6	6.7	1.25	181	12.75
160		153.6	3.2	0.50 ■	73	5.10
		152.2	3.9	0.63	91	6.43
		150.0	5.0	0.80	116	8.16
		147.6	6.2	1.00	145	10.20
		144.8	7.6	1.25	181	12.75

ANEXO D

CATÁLOGO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍA PVC

D. CATALOGO DE PERDIDAS EN TUBERIA PVC

PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm												
0.01	0.16	0.02	0.04										
0.02	0.32	0.08	0.09	0.02	0.05								
0.04	0.63	0.29	0.18	0.08	0.11								
0.06	0.95	0.62	0.26	0.18	0.16								
0.08	1.27	1.06	0.35	0.30	0.21								
0.10	1.59	1.61	0.44	0.46	0.26								
0.20	3.17	5.80	0.88	1.65	0.53	0.43	0.30						
0.30	4.76	12.30	1.32	3.50	0.79	0.91	0.45						
0.40	6.34	20.95	1.76	5.97	1.05	1.55	0.61						
0.50	7.93	31.68	2.20	9.02	1.32	2.35	0.76	0.72	0.47				
0.60	9.51	44.40	2.64	12.65	1.58	3.29	0.91	1.01	0.56				
0.70	11.10			16.83	1.84	4.38	1.06	1.34	0.65				
0.80	12.68			21.55	2.10	5.61	1.21	1.71	0.74				
0.90	14.27			26.80	2.37	6.98	1.36	2.13	0.84	0.66	0.52		
1.00	15.85			32.58	2.63	8.49	1.51	2.59	0.93	0.81	0.58		
1.20	19.02					11.89	1.82	3.63	1.12	1.13	0.69		
1.40	22.19					15.82	2.12	4.83	1.30	1.51	0.81	0.46	0.50
1.60	25.36					20.26	2.42	6.19	1.49	1.93	0.92	0.59	0.57
1.80	28.53					25.20	2.73	7.69	1.67	2.40	1.04	0.73	0.64
2.00	31.70							9.35	1.86	2.92	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.40	38.04							13.11	2.23	4.09	1.38	1.24	0.85
2.60	41.21							15.20	2.42	4.74	1.50	1.44	0.92
2.80	44.38							17.44	2.60	5.44	1.61	1.66	0.99
3.00	47.55									6.18	1.73	1.88	1.06
3.25	51.51									7.17	1.87	2.18	1.15
3.50	55.48									8.22	2.02	2.50	1.24
3.75	59.44									9.34	2.16	2.84	1.33
4.00	63.40									10.53	2.31	3.21	1.41
4.25	67.36									11.78	2.45	3.59	1.50
4.50	71.33									13.10	2.59	3.99	1.59
4.75	75.29											4.41	1.68
5.00	79.25											4.85	1.77
5.25	83.21											5.30	1.86
5.50	87.18											5.78	1.95
5.75	91.14											6.28	2.03
6.00	95.10											6.79	2.12
6.25	99.06											7.33	2.21
6.50	103.03											7.88	2.30
6.75	106.99											8.45	2.39
7.00	110.95											9.04	2.48
7.25	114.91											9.64	2.56

ANEXO E

CATÁLOGO PLASTIGAMA

E. CATALOGO PLASTIGAMA

Valvula de Bola compacta
LÍNEA CONSTRUCCIÓN



*Presión de
trabajo
1 MPa
(145 psi)*

*Disponible
desde 1/2" a 2"*

VÁLVULA DE BOLA COMPACTA

ROSCABLE PARA AGUA FRÍA



Unión roscable tipo
NPT 100% hermética.



Reemplaza la tradicional
válvula metálica a menor costo.



No se corroe y
tiene larga vida útil.



Ideal para zonas costeras
y de uso doméstico.

TUBOSISTEMAS

PLASTIGAMA

de AMANCO

Ventajas

Eficiencia.

Permite paso completo del caudal reduciendo la pérdida de carga hidráulica, mejor acople con el tubo de PVC y permite identificar rápidamente si el flujo está circulando, por la posición de su barra de maniobra.

EN CRUZ: CERRADO

EN PERIL: ABIERTO



Materia Prima.

100% PVC y ABS virgen con sellos de teflón permitiendo mayor hermeticidad.

Económica.

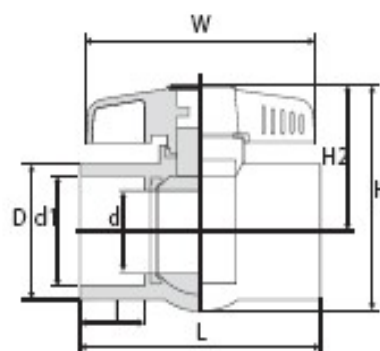
Menor costo que las válvulas metálicas de bola y con mayor vida útil.

Válvulas para agua fría



Especificaciones Técnicas

Tamaño nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Dimensiones:						
d (mm)	15,00	20,00	24,00	30,00	34,00	45,00
D (mm)	30,00	38,00	45,00	53,50	62,00	75,00
L (mm)	77,40	90,60	105,00	110,00	127,00	150,00
I (mm)	22,00	25,00	28,50	29,00	33,50	40,00
W (mm)	70,00	81,00	100,00	104,00	108,00	140,00
H (mm)	64,30	77,40	93,30	95,00	112,00	128,00
H2 (mm)	44,90	53,10	64,00	70,00	73,00	81,00
d1 (mm)	21,34	26,67	33,40	42,16	48,26	60,40
Hilos/Pulgada (Hilos/25.4mm)	14,00	14,00	11,50	11,50	11,50	11,50



Instalación con tubería de PVC



1. Para hacer la rosca utiliza una tarasca para rosca NPT según el diámetro del tubo.

2. Limpia con un trapo la rosca y comprueba el roscado del tubo en seco con la válvula a instalar.

3. Aplicar cinta de teflón Amanco con 5 vueltas distribuidas en la rosca. Ajusta manualmente la válvula y gira, ajustando 1/4 de vuelta.

Temp. °F/°C	Coefficiente Ft
0 - 25	1,00
25 - 35	0,80
35 - 45	0,63

Ft = Coeficiente de reducción de la presión de trabajo (Pt) de la válvula por temperatura °F/°C del fluido.

Recuerda: Durante el proceso la válvula debe estar en posición cerrada y no utilizar herramientas para efectuar el ajuste.

Aplicaciones para sistemas aéreos

Construcciones: baños, cocinas, lavanderías, piscinas y sistemas aéreos.

Regulación: sistema de riego por aspersión, microaspersión y goteos.

REV. 2006-07-17

AMANCO - PLASTIGAMA S.A.

Durán: Km 4.5 vía Durán - Tambo

Tel: 2802020 - 2805100 - Fax: 2808048 - 2805963

Quito: Calle de Los Molles N 45-20 y de Las Higueras, Montaserrín

Pbx: 3340730 - Fax: 3340731 - www.plastigama.com

SISTEMAS DE GESTIÓN CERTIFICADOS



ISO 9001 Calidad



ISO 14001 Medio Ambiente



OHSAS 18001 Seguridad y Salud



ANEXO F

CATÁLOGO DE ACCESORIOS EN LINEA ROSCABLE

F. CATALOGO DE ACCESORIOS DE LINEA ROSCABLE

Línea roscable agua caliente			
LÍNEA CONSTRUCCIÓN			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
CODO HH 90°			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
CODO HH 45°			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
CODO MH 90°			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
CURVA HH 90°			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
TAPON MACHO			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
TEE			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
UNION UNIVERSAL			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
TAPON HEMBRA			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
UNION R.R.			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
ROSCA C/TUERCA			
			16 aducciones de 1/2" a 3/8" hasta 2" x 1 1/2" de 20mm a 6mm hasta 61mm a 50mm
NEPLO 6 cm			
	plg 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 25 x 20 32 x 25 40 x 20	
NEPLO 8 cm			
	plg 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 25 x 20 32 x 25 40 x 20	
NEPLO 10 cm			
	plg 1/2 3/4 1	mm 20 25 32	
NEPLO 15 cm			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 20 x 16 25 x 20 32 x 25 40 x 20	
REDUCTOR			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
CODOS DE REDUCCION HH 90°			
	plg 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 25 x 20 32 x 25 40 x 20	
TEE DE REDUCCION			
	plg 1/2 3/4 1	mm 20 25 32	
PUENTE			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 20 25 32 40 50	
UNION REDUCTORA HH			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
ADAPTADOR para tanque c/junta			
	plg 1/2 3/4 1	mm 20 25 32	
CODO CACHIMBA / CURVA MH			
	plg 1/2 3/4 1	mm 20 25 32	
CODOS 90° con inserto metálico			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2	mm 20 25 32 40 50	
TEE HH con inserto metálico			
	plg 1/2 3/4 1 1 1/4 1 1/2 2	mm 20 25 32 40 50 63	
UNION HH con inserto metálico			

Línea roscable agua caliente

TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA AGUA CALIENTE

-  Asistencia técnica en obra.
-  Gama completa de accesorios.
-  Máxima seguridad en la unión.
-  Fácil y rápida instalación.

TUBOSISTEMAS

PLASTIGAMA























de AMANCO

ANEXO G

CATÁLOGO DE LONGITUDES EQUIVALENTES

G. CATALOGO DE LONGITUDES EQUIVALENTES

Longitudes Equivalentes (en m) de las pérdidas de carga localizadas correspondiente a distintos elementos singulares de las redes hidráulicas.

Clase de resistencia aislada		Diámetros nominales de las tuberías									
		3/8 10	1/2 15	3/4 20	1 25	1 1/4 32	1 1/2 40	2 50	2 1/2 65	3 80	4 100
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21
	"te" de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70
	"te" arqueada o de curvas ("pantalones")	1,50	1,68	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40
	"te" confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
	"te" derivación a ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90
	válvula retención de batiente de pistón	0,20 1,33	0,30 1,70	0,55 2,32	0,75 2,85	1,15 3,72	1,50 4,67	1,90 5,75	2,65 6,91	3,40 8,40	4,85 11,1
	válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	36,0
	válvula de compuerta abierta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09
	válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80
	válvula de globo	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7	17,1
	válvula de asiento de paso recto	-	3,40	3,60	4,50	5,65	8,10	9,00	-	-	-
	intercambiador	-	-	-	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	-
	radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50
	radiador con valvulería	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40	12,70
	caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50
	caldera con valvulería	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,00
	contador general individual o divisionario	4,5 m c.a. 10 m c.a.									

Nota: En el caso elementos con pérdidas de cargas importantes, tanto si son o no recogidos por la tabla, es recomendable utilizar los valores presentados por el fabricante.

ANEXO H

CATÁLOGO DE ROTAMETRO

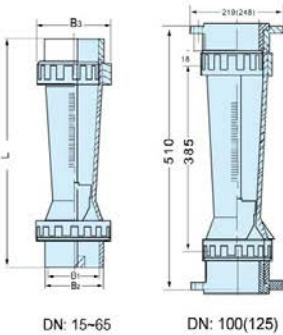
H. CATALOGO DE ROTAMETRO



- Working Pressure: ≤ Mpa
- Working Temperature: 0-80 °C
- Accuracy: ± 5%

DATA SHEET

DN (mm)	Model	Range m³/h	Socket Joint	Male	Female	Elbow
15	LZS-15	10~100 L/h 16~160 L/h 25~250 L/h 40~400L/h 60~600 L/h 100~1000 L/h	Ø20	1/2"NPT 3/4"NPT	G1/2"	G1/2"
25	LZS-25	0.1~1 0.16~1.6 0.25~2.5	Ø32	3/4"NPT	G3/4"	G3/4"
32	LZS-32	0.4~4 0.6~6	Ø40	1"NPT	G1"	G1"
50	LZS-50	0.4~4 0.6~6 1~10 1.6~16	Ø63	2"NPT	G2"	G2"
65	LZS-65	5~25 8~40 12~60	Ø75		G2½"	
100	LZS-100	12~60 18~90 20~120	Ø110	Center Distance180mm		
125	LZS-125	25~150 30~180	Ø110	Center Distance210mm		
150	LZS-150	12~60 18~90 20~120 25~150 30~180	Ø110	Center Distance240mm		



DN(mm)	(mm)			
	L	B1	B2	B3
15	220	20	26	51
25	230	32	39	60
32	290	40	49	72
50	350	63	73	98
65	420	75	88	122
100	547	Center Distance180mm		
125	547	Center Distance210mm		
150	547	Center Distance240mm		

ANEXO I

**NORMA ASTM D1785 CALIBRE
80 Y 40**

I. NORMA ASTM D1785 CALIBRE 80 Y 40

ASTM D1785 "Especificación Estándar para poli (cloruro de vinilo) (PVC) de plástico Tubos, Listas 40, 80 y 120" se fabrica para satisfacer las necesidades de una amplia gama de sistemas industriales, comerciales y residenciales de tuberías de peso y las dimensiones típicas de PVC y tuberías CPVC se indican en el cuadro siguiente:

Tubos de PVC y CPVC - Calendario 40					
Tamaño nominal de tubos (Pulgadas)	Diámetro exterior (Pulgadas)	Espesor mínimo de pared (Pulgadas)	Diámetro interior nominal (Pulgadas)	Peso (Lb / ft)	
				PVC	CPVC
1 / 2	0,840	0,109	0,622	0,16	0,17
3 / 4	1,050	0,113	0,824	0,21	0,23
1	1,315	0,133	1,049	0,32	0,34
Un cuarto	1,660	0,140	1,380	0,43	0,46
1 1 / 2	1,900	0,145	1,610	0,51	0,55
2	2,375	0,154	2,067	0,68	0,74
2 1 / 2	2,875	0,203	2,469	1,07	1,18
3	3,500	0,216	3,068	1,41	1,54
4	4,500	0,237	4,026	2,01	2,20
5	5,563	0,258	5,047	2,73	
6	6,625	0,280	6,065	3,53	3,86
8	8,625	0,322	7,981	5,39	5,81
10	10,750	0,365	10,020	7,55	8,24
12	12,750	0,406	11,938	10,01	10,89
14	14,000	0,438	13,124	11,80	
16	16,000	0,500	15,000	15,43	
Tubos de PVC y CPVC - Calendario 80					
Tamaño nominal de tubos (Pulgadas)	Diámetro exterior (Pulgadas)	Espesor mínimo de pared (Pulgadas)	Diámetro interior nominal (Pulgadas)	Peso (Lb / ft)	
				PVC	CPVC
1 / 2	0,840	0,147	0,546	0,20	0,22
3 / 4	1,050	0,154	0,742	0,27	0,30

1	1,315	0,179	0,957	0,41	0,44
Un cuarto	1,660	0,191	1,278	0,52	0,61
1 1 / 2	1,900	0,200	1,500	0,67	0,74
2	2,375	0,218	1,939	0,95	1,02
2 1 / 2	2,875	0,276	2,323	1,45	1,56
3	3,500	0,300	2,900	1,94	2,09
4	4,500	0,337	3,826	2,75	3,05
5	5,563	0,375	4,813	3,87	
6	6,625	0,432	5,761	5,42	5,82
8	8,625	0,500	7,625	8,05	8,83
10	10,750	0,593	9,564	12,00	13,09
12	12,750	0,687	11,376	16,50	18,0
14	14,000	0,750	12,500	19,30	
16	16,000	0,843	14,314	25,44	

- 1 libra = 0.4536 kg
- 1 pie (pie) = 0,3048 m
- 1 en (pulgadas) = 25.4 mm

PVC - cloruro de polivinilo

- fuerte y rígido
- resistente a una variedad de ácidos y bases
- puede ser dañado por algunos disolventes e hidrocarburos clorados
- utilizables temperatura máxima 140 ° F (60 ° C)
- utilizables de agua, gas y sistemas de drenaje
- no utilizables en sistemas de agua caliente

ANEXO J

COEFICIENTES DE PERDIDA EN ACCESORIOS DE TUBERÍA

J. COEFICIENTE DE PERDIDAS EN ACCESORIOS

2.3.1.4 Coeficiente de pérdidas por cambio de dirección






Figura					
K	0.5	1.0	1.5	3.0	0.05


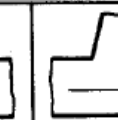
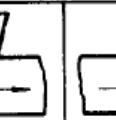

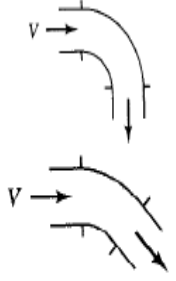
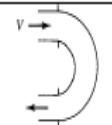
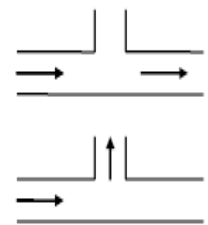
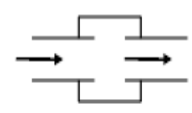
Figura				
K	0.1	0.15	2.0	3.0

Figura 2.12 Coeficiente de pérdidas (K) por cambio de dirección. (Mataix C., 1982).

Tabla 2.10 Longitudes equivalentes representativas (Le/D) para válvulas y accesorios. (Fox, R. W. et al., 1992).

Accesorio	Le/D
Válvulas completamente abiertas	
- Válvula de compuerta	8
- Válvula de globo	340
- Válvula de ángulo	150
- Válvula de bola	3
- Válvula de cheque	
Globo	600
Angulo	55
- Válvula de pie con coladera	
Disco cabezal	420
Disco con bisagra	75
Codo de 90°	30
Codo de 45°	16
Retorno a 180°	50
Tee de paso directo	20
Tee de salida lateral	60

Tabla 2.6 Coeficiente de pérdida (K) para aditamentos de tuberías.
(Munson .B. R. et al., 1990).

Componente	K	Diagrama
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

2.3.1.3 Coeficiente de pérdidas por cambio en la geometría del conducto

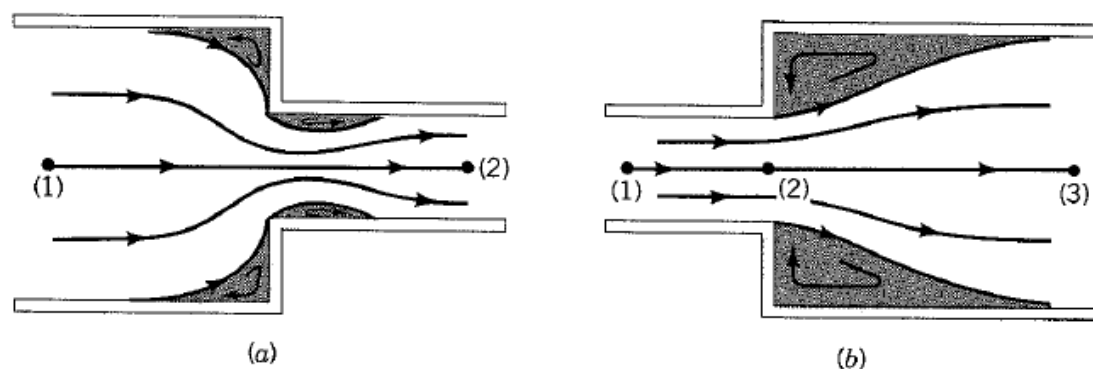


Figura 2.7 Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro.
(a) Contracción, (b) Expansión.
(Munson B. R. et al., 1994)

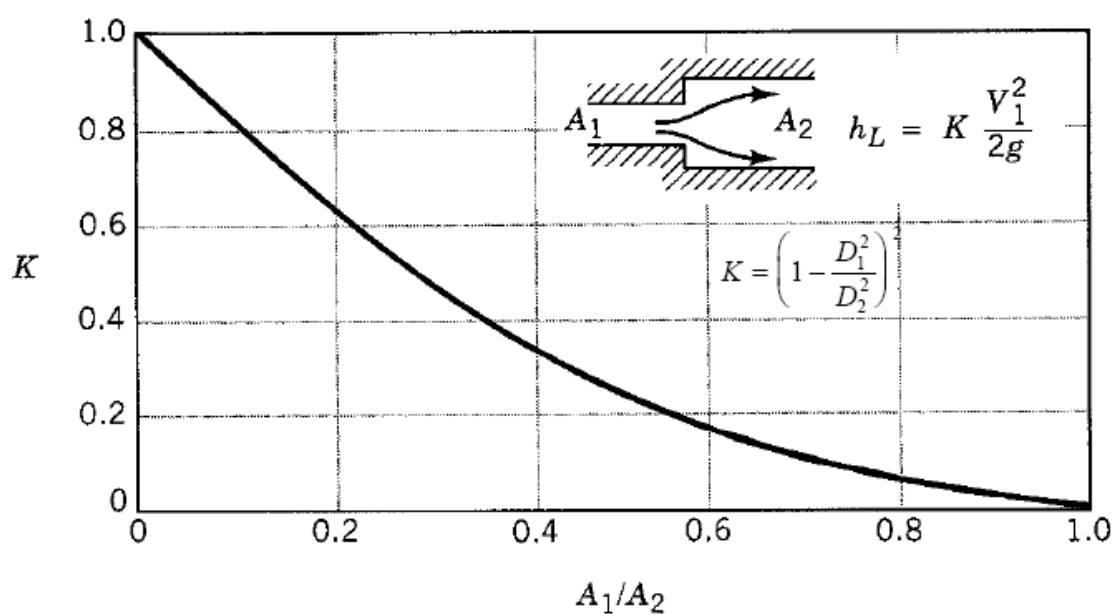


Figura 2.8 Coeficiente de pérdida (K) para expansión brusca.
(Munson B. R. et al., 1994)

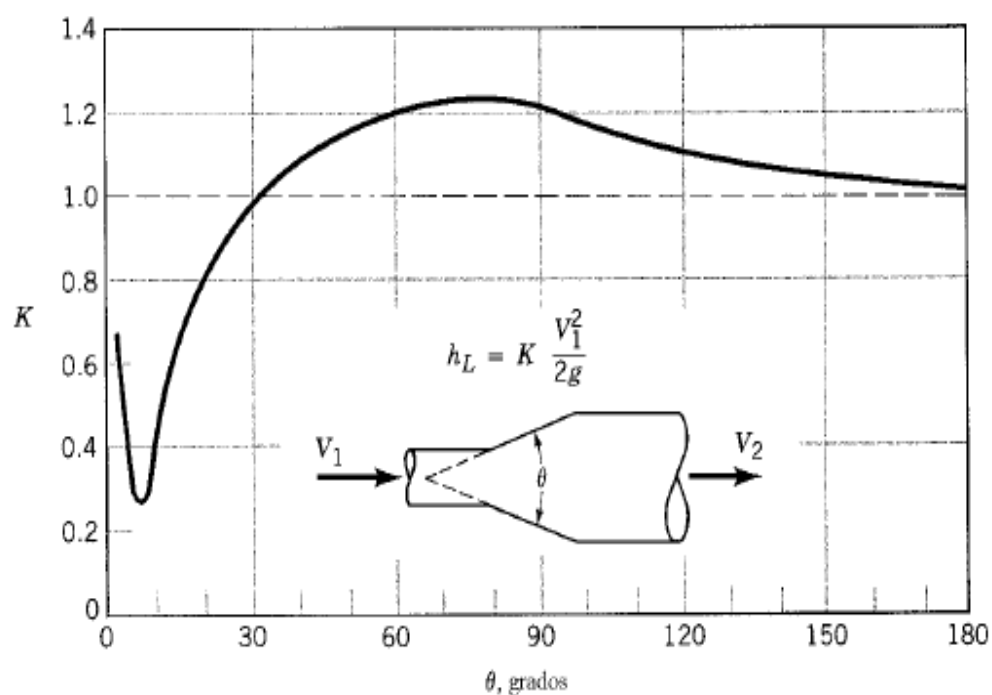


Figura 2.10 Coeficiente de pérdida (K) para expansión suave. (Munson B. R. et al., 1994)

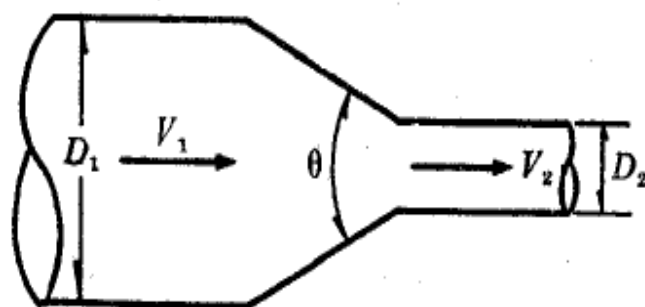


Figura 2.11 Contracción gradual. (Sotelo A. G., 1982).

Tabla 2.4 Coeficiente de pérdida (K) para contracción gradual en función de la velocidad de salida. Conductos redondos y rectangulares. (Sotelo A., G., 1982).

ANEXO K

MONTAJE

K. MONTAJE

El montaje de instrumentos, accesorios y tuberías seleccionados con anterioridad entran en proceso de construcción de propósito orden.

Medición de tubería.

Mediante un flexometro procedemos a medir las tuberías y señalar, respetando las dimensiones que otorgan los planos.

Corte y roscado de tubería

A continuación cortamos tubería en partes señaladas y roscamos.

Las herramientas utilizadas son:

- Corte (sierra)
- Roscado (Tarraja)
- Llave de tubo



Fotografía N.1 Roscado de tubería



Fotografía N.1.1 Roscado de tubería

Armado de tuberías y accesorios

El armado conlleva a unir tubería con codos, universales, te, bushing, mediante teflón y permatex. Que en este caso sería el armado estructural del conjunto.

Las herramientas a utilizar son:

- Llave de tubo
- Entenalla



Fotografía N.2. Colocación de teflón y permatex



Fotografía N.3 Conjunto de elementos armado



Fotografía N.3.1 Conjunto de elementos armado

Armado de accesorios, tubería e instrumentos

El armado conlleva a unir tubería con válvulas check, coladera de succión, rotámetro, tanque, bombas, manómetros, válvula de mariposa, válvulas de bola de media vuelta.

Las herramientas a utilizar son:

- Llave de tubo
- Entenalla
- Llaves 1", 3/4", 1/8"
- Llave Francesa



Fotografía N.4 Conjunto armado de motor, bomba, universal, te, codos y bushing



Fotografía N.5 Conjunto armado de te, bushing y check



Fotografía N.6 Conjunto armado de tubería, válvula de media vuelta



Fotografía N.7 Conjunto armado de tuberías, té, bushing, codo universal, check, motor, bomba y válvula de bola de media vuelta.



Fotografía N.7.1 Conjunto armado de tuberías, té, bushing, codo universal, check, motor, bomba y válvula de bola de media vuelta.



Fotografía N.8 Montaje de tubería en proceso

Armado de accesorios, tubería e instrumentos (eléctricos)

El armado conlleva eléctricamente contactor, selector metálico, amperímetro, Pulsadores, braker, Cable superflex, terminal cerrado, taípe eléctrico enchufe.

Las herramientas a utilizar son:

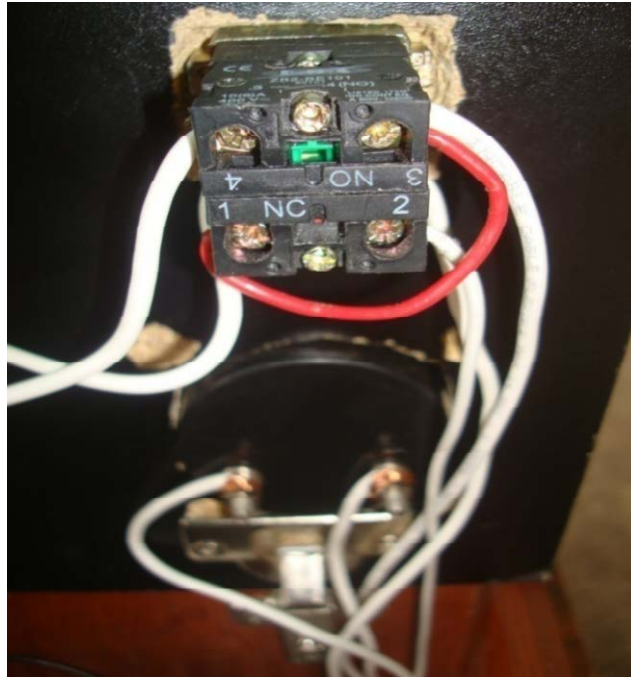
- Llave de tubo
- Desarmador plano y de estrella
- Alicates



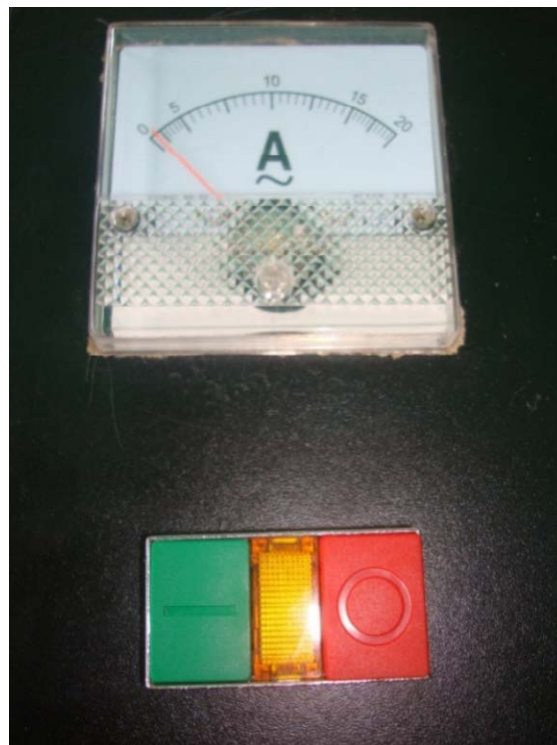
Fotografía N.9 Montaje eléctrico



Fotografía N.10 Conjunto armado Breker, cable, enchufe, toma de fuente y cables



Fotografía N.11 Armado eléctrico de contactor, pulsadores y cables



Fotografía N.12 Conjunto amperímetro, pulsadores



Fotografía N.13 Conjunto armado de tablero eléctrico completo

Armado y fijación de partes a banco de pruebas

Se procede a fijar bombas, tanque, tubería y demás elementos a fin de que el banco de pruebas tenga rigidez.

- Taladro
- Broca diámetro 6 mm
- Amarras



Fotografía N.14 Fijación de elementos a banco de madera



Fotografía N.16. Fijación de elementos a manco de madera y colocación de rotámetro

Montaje completo de banco de Pruebas

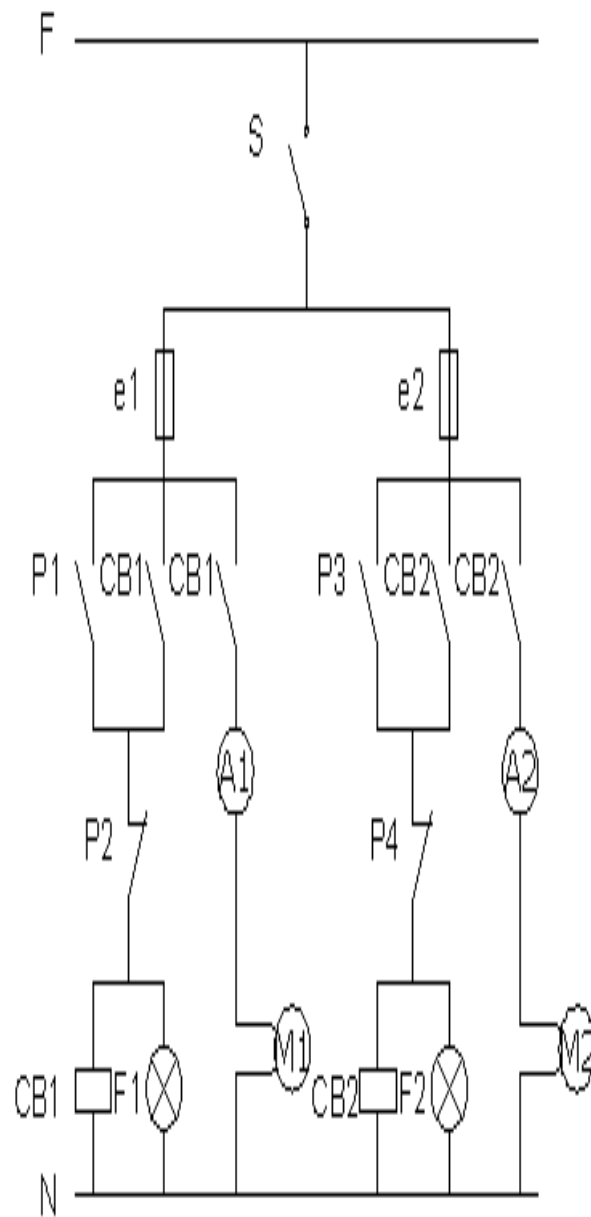


Fotografía N.17 Conjunto de partes hidráulicas y eléctricas completas.

ANEXO L

PLANO ELECTRICO

L. CIRCUITO ELECTRICO BANCO DE PRUEBAS



F = FASE

N = NEUTRO

S = SWITCH ON/OFF

e1 = Breaker

P1 = Pulsante

encendido Bomba 1

P2 = Pulsante

apagado Bomba 1

A1 = Amperimetro 1

F1 = Luz piloto 1

M1 = Motor Bomba 1

CB1 = Contactor B1

e2 = Breaker 2

P3 = Pulsante

encendido Bomba 2

P4 = Pulsante

apagado bomba 2

A2 = Amperimetro 2

F2 = Luz piloto 2

M2 = Motor Bomba 2

CB2 = Contactor B2

ANEXO M

PLANOS